

УДК 550.34

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

Заалишвили В. Б.¹, Рогожин Е. А.²

ASSESSMENT OF SEISMIC HAZARD OF TERRITORY ON BASIS OF MODERN METHODS OF
ENGINEERING SEISMOLOGY

Zaalishvili V. B., Rogozhin E. A.

The new complex method of seismic hazard assessment resulted in creation of the probabilistic maps of seismic microzonation is presented in this paper. Using modern methods (over-regional method of Shmidt Institute of Physics of the Earth of RAS – Russia) and computer programs (SEISRisk-3 – USA) in GIS technologies there were designed some probabilistic maps of seismic hazard for the Republic North Ossetia-Alania in intensity units (MSK-64) at a scale of 1:200,000 with exceeding probability being of 2%, 5%, 10% for a period of 50 years, which correspond to recurrence period of 2500, 1000, 500 years, correspondingly. Moreover, for the first time in Russia the probabilistic maps of seismic hazard in acceleration units for the large territory were made. The map of 5% probability is likely to be used for the large scale building, i.e. the major type of constructions, whereas the map of 2% probability should be used for high responsibility construction only. The approach based on physical mechanisms of the source (FINSIM computer program developed by I. Beresnev and J. Anderson, 1998) is supposed to design the synthesized accelerograms. For each of the probabilistic maps the seismic microzonation maps with allocation of zones with different designed intensity (7, 8, 9, 9*) are developed (the zones, composed by clay soils of fluid consistency, which can be characterized by liquefaction at quite strong influences, are marked by the index 9*). The maps in accelerations units show the similar results.

Keywords: seismic hazard, PSS zones, detailed seismic zoning, seismic microzonation.

На сегодняшний день в мире для определения сейсмических нагрузок для инженерных проектов, как правило, используется вероятностная оценка сейсмической опасности. Вероятностный подход представляет собой более систематизированный метод для оценки количества, размеров и местоположения будущих землетрясений [1–3], чем другие используемые методы. Формальные процедуры для вероятностной оценки включают в себя определения пространственно-временных неопределенностей для прогнозируемых (будущих) землетрясений. Важным этапом в развитии метода стала компьютерная программа Мак Гайра EQRISK [4]. Программа была широко распространена и по сегодняшний день весьма популярна. В связи с этим, вероятностную оценку сейсмической опас-

ности часто называют методом Корнелла-МакГайра. Программа включает в себя интегрирование по распределению неопределенностей.

Кавказский регион характеризуется высокой интенсивностью динамических геологических процессов [5] и связанными с ними опасностями как естественной, так и техногенной природы. Особенно ярко среди этих опасностей выражена сейсмичность, сопровождающаяся широким спектром вторичных процессов. Среди них можно отметить разрывы земной поверхности, оживление ранее известных неактивных разломов, оползневые явления, обвалы, лавины, крип, просадки земной поверхности, активизацию покровных структур, разжижение грунтов и другие опасные явления.

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.

²Рогожин Евгений Александрович, д-р геол.-мин. наук, заместитель директора Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН; e-mail: eurog@ifz.ru.

1. Методика выделения зон ВОЗ

Исследованиями по определению и параметризации зон сейсмических очагов в последние десятилетия занимались В. П. Солоненко, В. С. Хромовских, Е. А. Рогожин, В. И. Уломов, В. Г. Трифонов, И. П. Гамкрелидзе, и др. [6–15].

На основе результатов работ по изучению активных разломов, расположенных к югу от Главного Кавказского хребта, были выбраны параметры очаговых зон по данным работы И. П. Гамкрелидзе [14], а к северу от хребта — по данным Е. А. Рогожина и др. [6–10, 12, 13]. Согласно результатам проведенной экспертной оценки сейсмического потенциала ($M_{\text{макс}}$) были составлены карты районирования сейсмических источников — зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ) территории Северной Осетии.

В последние годы разработан новый оригинальный метод установления более точных границ активной части сейсмогенного источника (разлома) и оценки потенциала опасности сейсмического источника (при работах уровня детального сейсмического районирования — ДСР) [16].

Для наглядности использования процедур, рассмотрим процесс оценки сейсмической опасности территории на примере северной части Центрального Кавказа — территории Республики Северная Осетия-Алания.

Зоны ВОЗ приурочены к системам активных разломов, выделенных по геологическим данным и на основании интерпретации материалов дистанционных зондирований. Проводилось дешифрирование спектрональных трехканальных космоизображений Landsat-4/5 (разрешение 30 м) и Landsat-7 (разрешение 15 м). Дешифрирование космofотоснимков осуществлялось как в цветном спектрональном варианте, так и в черно-белом. Для анализа многозональных сканерных снимков использовались различные варианты синтеза изображений. Кроме того, выявление линейментов производилось и отдельно по каналам. Для выявления линейментов применен совместный дедуктивно-индуктивный подход: дешифрировались обобщенные структуры на базе сильно генерализованных изображений с последующим увеличением масштаба для детализации и наоборот, выявлялись локальные особенности тектонических и экзогенных структур с последующим уменьшением масштаба и обобщени-

ем. При этом использован метод ступенчатой генерализации с квантованием на уровнях 1:25000; 1:50 000; 1:100 000; 1:200 000; 1:300 000; 1:400 000; 1:500 000. В диапазоне масштабов 1:25 000–1:1 500 000 использована космofотокарта на базе снимков Landsat-7, а в диапазоне 1:500 000–1:2 000 000 — космofотокарта, созданная на базе снимков Landsat-4/5.

Протяженные системы линейментов идентифицировались с известными разломами, и эти разломы были квалифицированы в качестве активных на современном этапе. По названию разломов или крупных населенных пунктов формулировалось название зон ВОЗ. Морфо-кинематика активных разломов служит основанием для квалифицирования кинематики сейсмогенных смещений в зонах ВОЗ. Глубина гипоцентров ожидаемых землетрясений рассчитывалась на основе глубины заложения разломов по геофизическим данным и магнитуды ожидаемых событий.

Максимальная магнитуда ожидаемых землетрясений (сейсмический потенциал, $M_{\text{макс}}$) оценивалась по результатам применения внерегионального сеймотектонического метода оценки сейсмической опасности, предложенного Г. И. Рейснером. Использование внерегионального сеймотектонического метода оценки сейсмического потенциала, основы которого описаны в ряде публикаций [17, 18], показало, что Северный Кавказ представляет собой область весьма высокой сейсмической опасности.

В 2007 г. по данным полевых исследований было установлено, что наибольшую опасность для урбанизированных территорий Северной Осетии представляют Владикавказская, Моздокская, Сунженские и Терская зоны ВОЗ (таблица, рис. 1) [19–21].

После составления этих карт была выполнена параметризация очагов, т.е. для каждого из очагов оценивалась их $M_{\text{макс}}$ — наибольшая возможная магнитуда. Это наиболее трудная задача в процессе параметризации зон ВОЗ. $M_{\text{макс}}$ определялась по данным ряда авторов [12, 15, 23].

Второй существенный параметр, характеризующий ожидаемые землетрясения, это диапазон глубин очагов, в которых зарождается большинство сейсмических событий соответствующей магнитуды. Согласно многочисленным исследованиям Кавказ представляет собой регион верхнекорового расположения очагов — глубина их не превышает

Характеристики зон ВОЗ

| № | 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 |

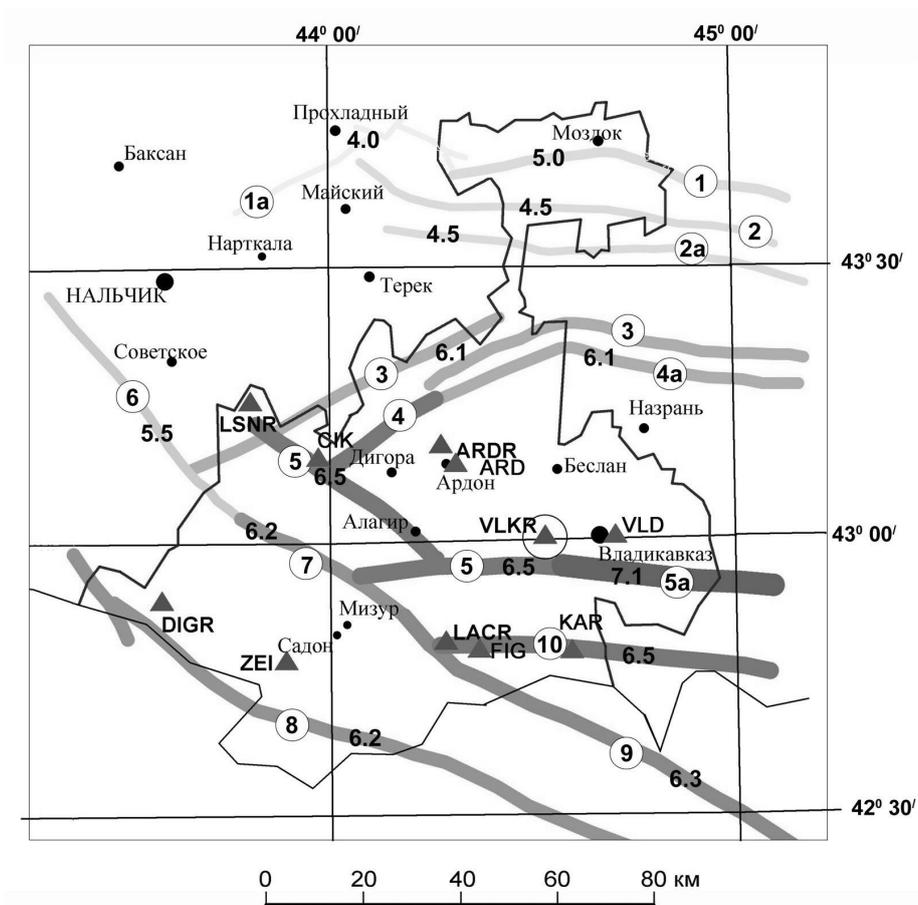


Рис. 1. Карта зон ВОЗ территории РСО-А [Рогожин Е.А., 2007]

20–25 км (более глубокая сейсмичность наблюдается в Терско-Сунженской зоне в районе г. Грозного и в Каспийском море). Так как для этого района распределение очагов по глубине не проводилось, для расчетов было принято среднее значение глубины равное 10 км (табл. 1).

2. Сейсмичность РСО-А и ее приуроченность к зонам ВОЗ

Для оценки параметров соотношения повторяемости в процессе выполнения ряда исследований по международным проектам был проверен и уточнен каталог землетрясений. Сейсмичность в каждой зоне источника была проанализирована на основе использования каталогов: New Catalogue... 1982, Corrected Catalogue of Caucasus, Institute of Geophysics Ac. Sci. Georgia (in data base of IG), the Special Catalogue of Earthquakes for GSHAP test area Caucasus (SCETAC), compiled in the frame of the Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), for the period 2000 BC-1993, N.V. Kondorskaya (editor), ($M_s > 3,5$), earthquake catalogues of Northern Eurasia (for 1992–2000), Catalogue of NSSP Armenia, Special catalogue for the Racha earthquake 1991 epicentral area (Inst. Geophysics, Georgia), а также каталог Северной Осетии 2004–2006 гг.

Исправленный каталог Кавказа содержит более 61000 землетрясений, включая 300 исторических событий [24, 25], которые произошли в течение 2000 лет. Этот каталог был выверен и исправлен. Некоторые гипоцентральные параметры землетрясений были рассчитаны повторно.

Исследование сейсмичности проведено по материалам каталога Северного Кавказа, созданного в ГС РАН по данным целого ряда источников [26–28] и ежегодно пополняемого результатами непрерывных наблюдений сетей ГС РАН в этом регионе. Представительность магнитудных уровней землетрясений в каталоге в районе РСО-А оценена по графикам повторяемости землетрясений и составила в историческое время вплоть до 1946 г. $M=5-4,5$, в период 1946–1961 гг. – $M=4$, в период с 1962 по 1984 г. – $M=3,5$, в период 1985–2003 гг. (после открытия здесь станции «Цей») – $M=2,5$. Ситуация с чувствительностью сети начала изменяться с 1998 г. с созданием в Республике Северная Осетия–Алания новой локальной сети цифровых сейсмических станций Центра геофизических иссле-

дований, включающей сейсмометры СК-1П и регистраторы Альфа Геон. Занимая центральную часть на Северном Кавказе, локальная сеть сейсмических наблюдений республики являлась (при отсутствии других действующих систем геофизических наблюдений) важнейшей основой для изучения сейсмического режима региона. При этом следует отметить, что станциями локальной сети РСО-А фиксировалось значительная часть землетрясений происходящих в регионе (20–25%). С помощью указанной сети, в частности, были получены уникальные цифровые записи схода ледника Колка 20 сентября 2002 г.

В 2004 г. на территории Республики работало 6 сейсмических станций ГС РАН, оснащенных цифровым оборудованием и, в основном, короткопериодными сейсмометрами СМЗ-КВ. К концу 2005 г. число станций достигло 12-ти. В организованном информационно-обрабатывающем центре во Владикавказе начали создавать «Предварительный каталог землетрясений территории РСО-А». Представительным магнитудным уровнем в каталоге становится $M=1,5$. Развитие наблюдений и регистрация слабых событий в этой зоне стимулировало более детальное, относительно [29] исследование зон ВОЗ в этом районе.

На карте сейсмичности за 1250–2003 гг. (до ввода в эксплуатацию цифровой телеметрической сейсмической сети С-ОФ ГС РАН) среди рассеянных по всей карте эпицентров, выделяются скопления землетрясений, некоторые из них приурочены к зонам ВОЗ, другие заполняют пространство между зонами (рис. 2), а самые значительные землетрясения с $M \geq 5$ однозначно приурочены к зонам ВОЗ или узловым зонам их сочленения.

В Центре геофизических исследований в 2003 г. с открытием станции «Кармадон» существующая сеть республиканских наблюдений была преобразована совместно с СКГМИ (ГТУ) в локальную сеть для наблюдений за опасными природно-техногенными процессами «Кармадонский параметрический полигон». На станциях указанной сети в 2006 г. устаревшие цифровые станции Альфа Геон были заменены на регистраторы второго поколения Дельта Геон, а общая численность из-за отсутствия необходимого числа сейсмометров составила 5 станций.

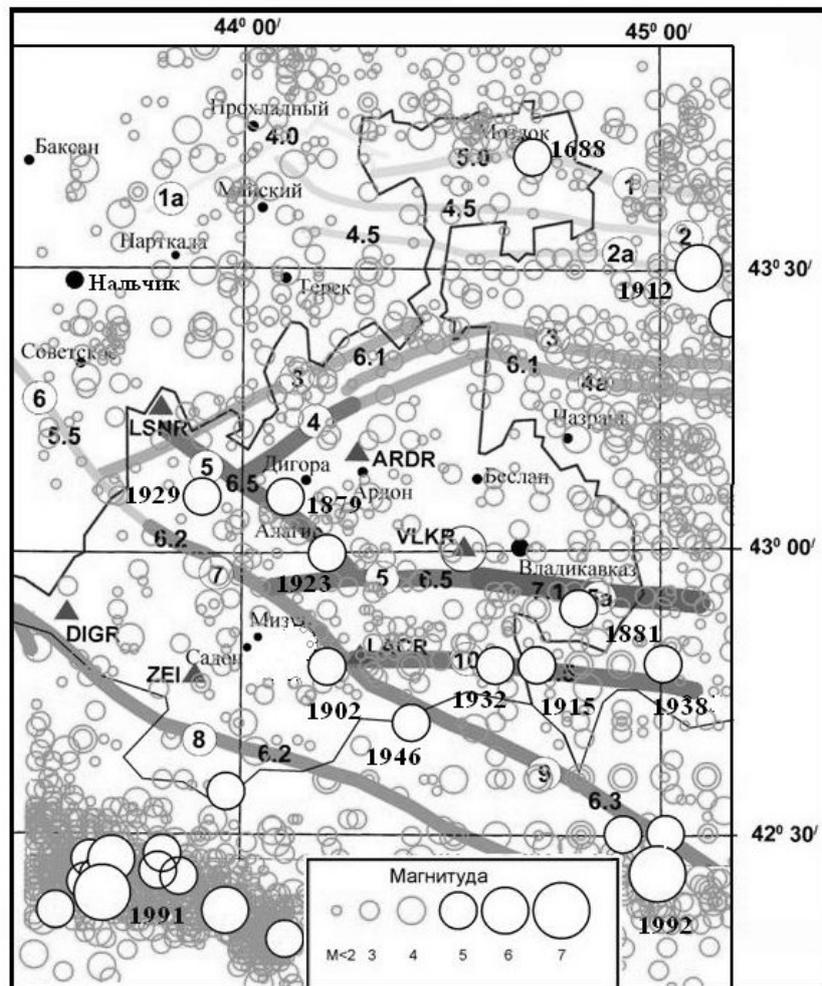


Рис. 2. Наложение эпицентров землетрясений каталога Северного Кавказа за период 1250–2003 г. на схему ВОЗ [26]

3. Оценка сейсмической опасности территории

Пороговая магнитуда для всего каталога, а также значения a и b закона повторяемости были определены для крупных тектонических зон, поскольку их расчет для отдельных зон ВОЗ был невозможен из-за отсутствия данных. Значение b закона повторяемости определяется по формуле Гутенберга-Рихтера

$$\lg(N/T) = a - bM,$$

где параметры a и b — соответственно наклон и уровень графика повторяемости при $M = 0$.

Для каждой зоны ВОЗ (как линейной, так и площадной) была изучена частота возникновения землетрясений на основе наблюдаемой сейсмичности. Для изучения соотношения Гутенберга-Рихтера землетрясения

приписывались к отдельным разломам или зонам ВОЗ с учетом точности определения эпицентров. Из-за недостатка данных о точности определения положения была принята усредненная модель, предполагающая нормальное распределение ошибок со стандартным отклонением равным 3–4 км. Были измерены расстояния от каждого события до всех зон ВОЗ, учитывались только те зоны, которые находились от события на расстояниях более близких, чем три стандартных отклонения. Основываясь на величине расстояний, каждой зоне был присвоен свой весовой коэффициент, исходя из кривой плотности распределения вероятности стандартных отклонений.

Эффект землетрясения оценивался на основе использования двух различных параметров: макросейсмической интенсивности и пикового ускорения основания (PGA). Макросейсмическая интенсивность (шкала

MSK-64) традиционно использовалась для сейсмического районирования в СССР. В работе [30] показано, что параметры макросейсмического поля, определенные в каталоге сильных землетрясений, дают средние значения, которые хорошо описывают макросейсмическое поле для средних землетрясений и вдали от эпицентра. В вышеупомянутой работе параметры определены для сильных землетрясений и сравнительно близких расстояний.

С другой стороны, инструментальные данные сильных движений на Кавказе и в смежных областях позволяют нам использовать PGA и спектральный закон затухания ускорения для анализа сейсмической опасности. В последние годы PGA активно использовалось для оценки сейсмической опасности всего Кавказа [31], отдельных стран [23, 32, 33], городов и регионов [34–36].

Сопоставление соотношений затухания для пикового горизонтального ускорения с подобными соотношениями для других регионов, в частности, с моделями Запада Северной Америки показывает хорошее соответствие. Очевидно, что затухание в Европе более низкое по сравнению с Кавказом и прилегающей областью. Предсказанные пиковые значения в ближней зоне выше, чем соответствующие значения, полученные с помощью других Европейских моделей [37].

Для территории Северной Осетии были созданы карты сейсмической опасности, определяющие вероятность превышения фиксированной величины сотрясений в течение различных времен экспонирования, в виде набора карт для макросейсмической интенсивности при повторяемости 50 лет с вероятностью превышения 2%, 5% и 10% в масштабе 1:200 000 (рис. 3). При расчетах использовалась компьютерная программа SEISRISK III, разработанная в 1987 г. Бендером и Перкинсом [38]. Карта наблюдаемых максимальных интенсивностей сопоставлялась с картами различных периодов экспозиции, и на основе анализа различий между наблюдаемыми и расчетными картами была выбрана наиболее реальная карта. В соответствии с этими критериями для сейсмического районирования территории Северной Осетии может быть рекомендована карта 5% вероятности превышения в течение 50 лет.

Анализ карт показывает, что главная сейсмическая опасность связана с теми разлома-

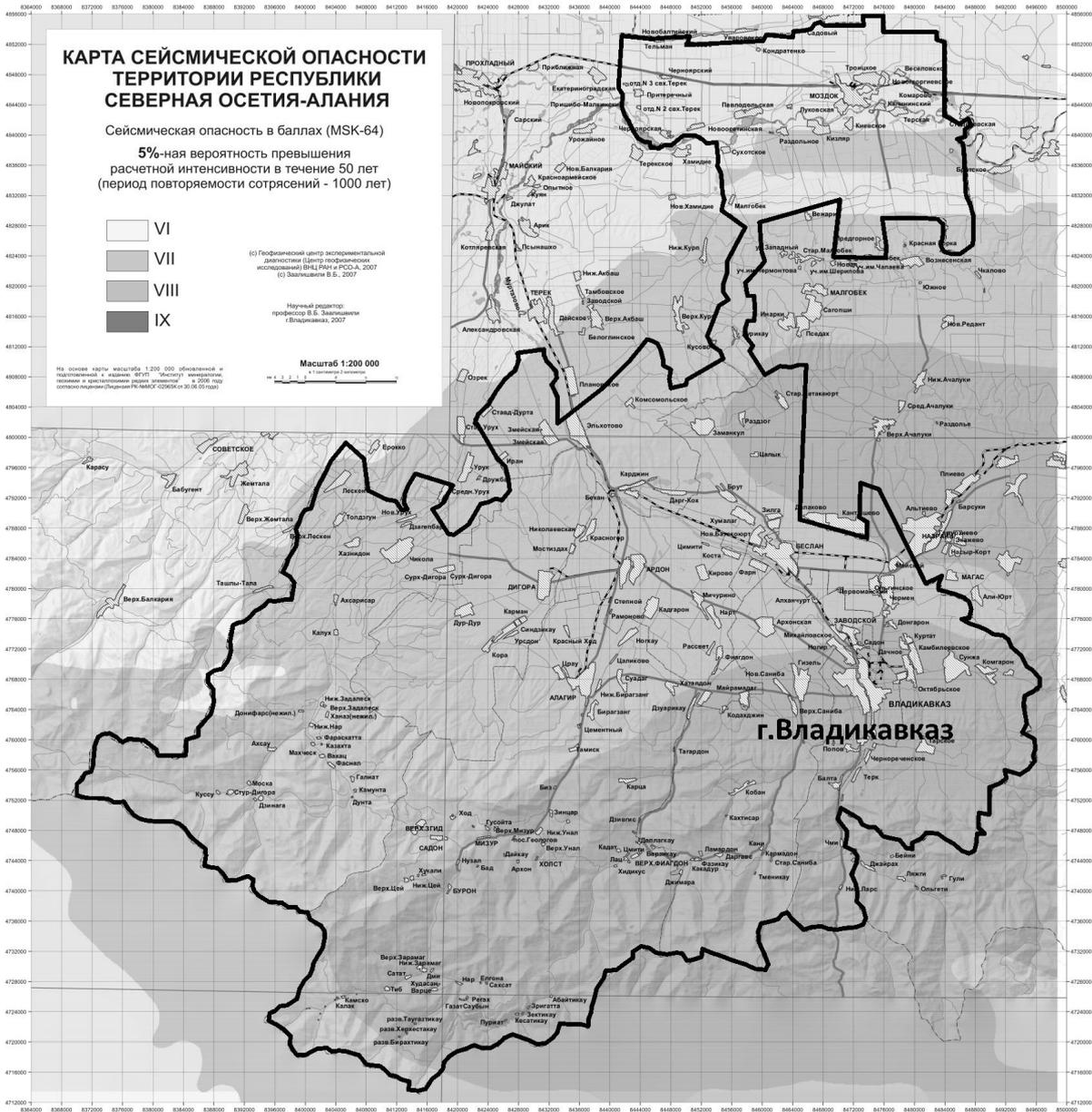
ми или зонами ВОЗ, которые расположены близко к городу Владикавказ (рис. 1 и 2).

Как уже отмечалось, в 2007 г. такая карта сейсмической опасности территории в масштабе М 1 : 200 000 (в 1 см — 2 км) была создана для Северной Осетии. Подобные карты сейсмической опасности существуют, но с масштабом М 1 : 8 000 000 (в 1 см — 80 км). А значит, они проигрывают в детальности.

Ученые из Центра геофизических исследований РАН (Владикавказ) совместно с коллегами из Института Физики Земли РАН не только предложили использовать крупномасштабные карты, но решили пойти дальше и охватить подобными картами в масштабе М 1 : 200 000 весь Северный Кавказ. Так, могут быть созданы карты сейсмической опасности в масштабе М 1 : 200 000 для Чеченской, Кабардино-Балкарской и других территорий. Учитывая, что разломы и другие отличительные характеристики территории существуют вне любых границ, в том числе государственных, можно построить совершенно непривычную, но вполне физически обоснованную одну общую карту детального сейсмического районирования территории Северного Кавказа в масштабе М 1 : 200 000 для различных временных экспозиций и, соответственно, вероятностей. Так созданные карты детального сейсмического районирования РСО-А соответствуют 10%, 5%, 2%, 1% вероятностям превышения опасного события. Карты 10% соответствуют реализации землетрясения в 500 лет раз, 5% — 1 000 лет, 2% — 2 500 лет и 1% — 5 000 лет. При этом по мере увеличения времени экспозиции растет уровень ожидаемой сейсмической опасности и т.д.

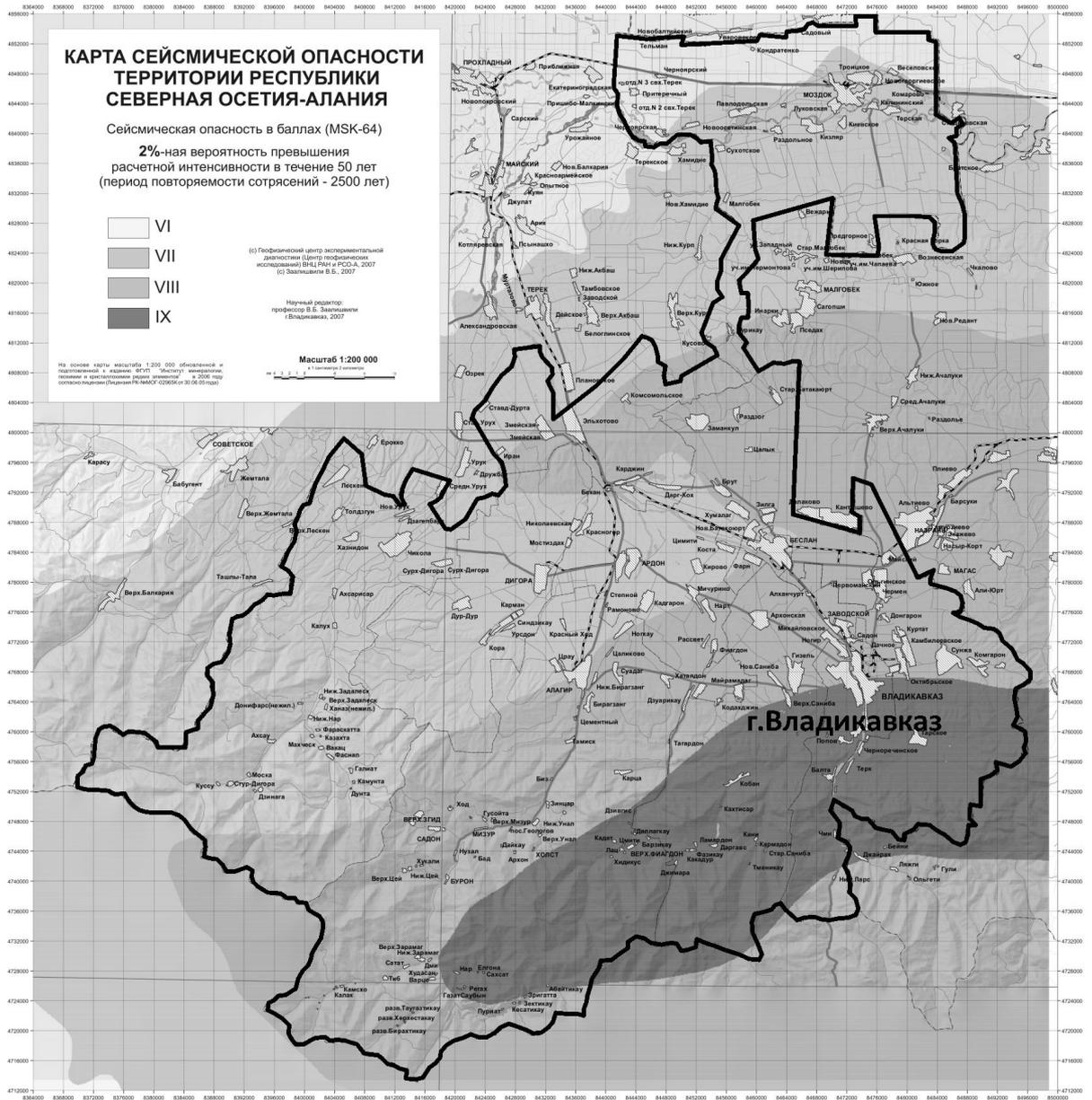
Описанные карты детального сейсмического районирования представляют собой ни что иное как «долгосрочные» карты прогноза мест различной ожидаемой интенсивности. Разумеется, заранее вывести людей с опасной территории до прогнозируемого землетрясения не удастся, но исключить погребение населения под разрушаемой, а точнее только повреждаемой в той или иной степени застройкой, формируемой с учетом таких карт, вполне реально. Более грамотное общество всегда обеспечивает меньший сейсмический риск, т.е. меньшие экономические и социальные потери, поэтому приоритеты ясны.

На основе указанных вероятностных карт далее необходимо разработать соответствующие карты сейсмического микрорайонирования городов и крупных населенных пунк-



а)

Рис. 3. Вероятностная карта сейсмической опасности в интенсивностях (MSK) с вероятностью превышения 5% (а) и 2% (б)



б)

Рис. 3. Вероятностная карта сейсмической опасности в интенсивностях (MSK) с вероятностью превышения 5% (а) и 2% (б)

тов каждого отдельного субъекта РФ с использованием самых современных стандартных методов и способов, но уже в масштабе $M 1 : 10\,000$ (в 1 см 100 м). В Центре впервые в России разработаны вероятностные карты сейсмического микрорайонирования. Такие карты сейсмического микрорайонирования являются непосредственной и самой надежной основой сейсмостойкого проектирования и строительства объектов.

Созданный по вышеописанной методологии комплект карт позволяет обеспечить одинаковую степень риска в пределах территорий, охватываемых каждой из карт, и предназначен для сейсмостойкого строительства и мер по снижению сейсмического риска для разных категорий степени ответственности и сроков службы [15]. Нами предложено использовать карты 5 %-й вероятности для массового, т.е. основного строительства, а карты 2 %-й вероятности — для строительства объектов повышенной ответственности. В то же время необходимо иметь в виду, что указанные карты представляют необходимую основу для проведения сейсмического микрорайонирования (СМР) и создания соответствующих карт.

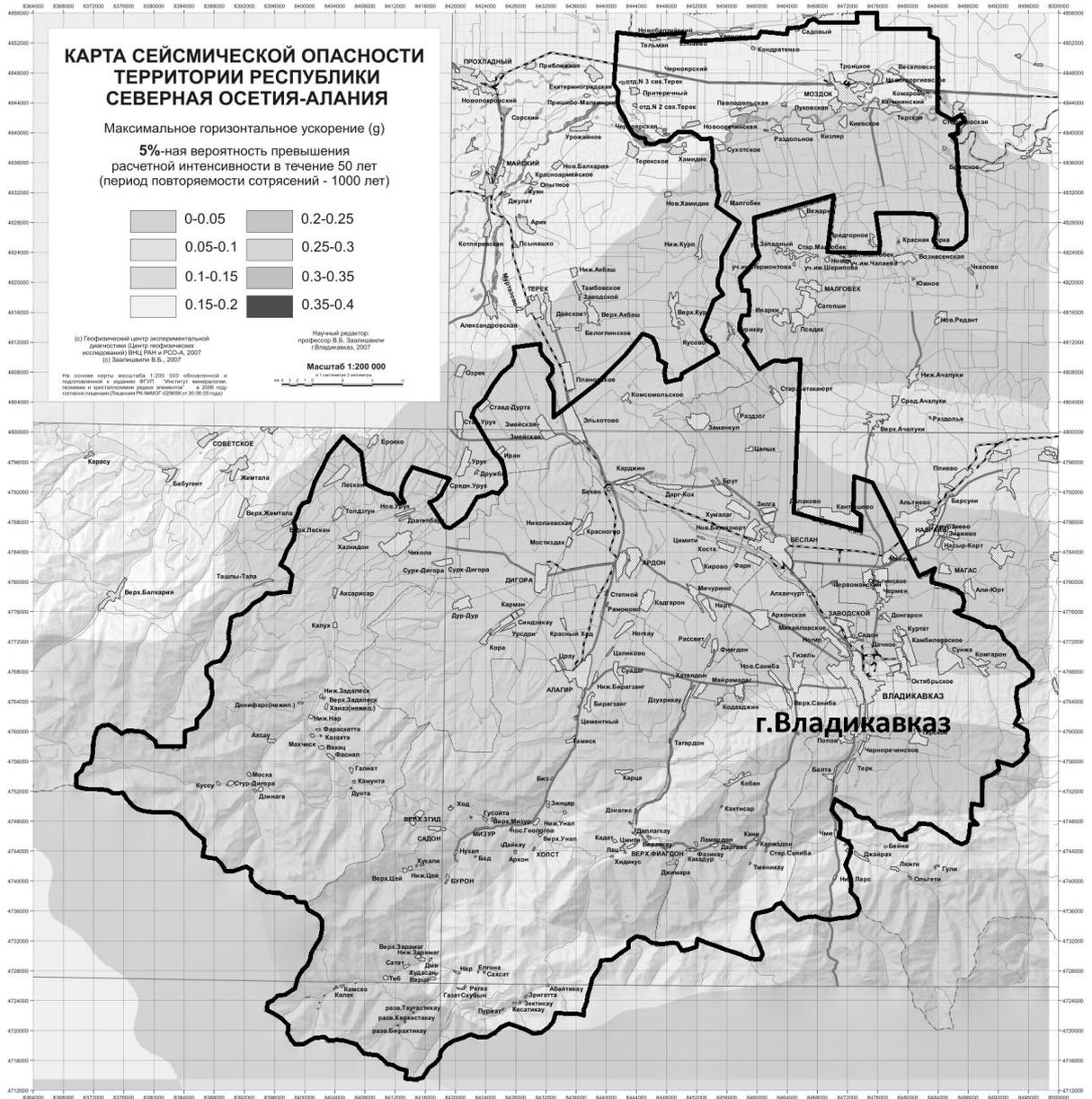
Кроме того необходимо отметить, что при использовании традиционных единиц макросейсмической интенсивности границы между различными зонами характеризуются резкими изменениями, явно не соответствующими реальной ситуации монотонного изменения интенсивности для однородных грунтовых условий исследуемой территории. Это, несомненно, формирует заметные погрешности при оценках уровня сейсмической опасности при той или иной территории. Использование на практике искусственного дробления интенсивности в виде, например, 7,2 или 8,3 балла, на наш взгляд, совершенно не обосновано с точки зрения определения указанной величины. Так, во-первых, обычно не объясняется, как эти дробные оценки получены, а, во-вторых, последующий переход к единицам ускорений (очевидно, по зарубежным данным, т.к. записей ускорений для формирования надежной корреляции в России нет), несомненно, формирует значительную погрешность и вряд ли физически обоснован из-за условности собственно параметра «интенсивность в баллах» характеристики проявления землетрясения.

С другой стороны, при оценках сейсмического воздействия инженеры при сейсмостойком проектировании используют значе-

ния ускорений, соответствующие (строго говоря, принятые достаточно условно) определенным интенсивностям в баллах. Так, принято, что 7 баллам соответствует расчетное ускорение $a = 0,1g$, 8 баллам — $0,2g$, 9 баллам — $0,4g$ и т.д. В то же время развернутая сеть цифровых станций на Южном Кавказе на основе регистрации записей целого ряда сильных и разрушительных землетрясений: Спитакское (Армения, 1988), Рачинское (Грузия, 1991), Барисахское (Грузия, 1992), Бакинское (Азербайджан, 2000), Гобуанское (Грузия, 2000), Тбилисское (Грузия, 2002) и т.д. — создала условия для формирования базы данных записей ускорений для Кавказа. Это позволяет совершенно независимо строить карты сейсмической опасности в единицах грунтового ускорения. Такие карты для территории Северной Осетии, а именно карты сейсмической опасности (PGA — пики грунтовых ускорений) для повторяемости 50 лет с вероятностью превышения 2 %, 5 % и 10 % также в масштабе $1:200\,000$ были построены (рис. 4). Хорошо видно, что меняя шаг сглаживания можно получать любое, и при этом физически вполне обоснованное, плавное изменение ускорений, которые прямо можно использовать при задании сейсмических воздействий.

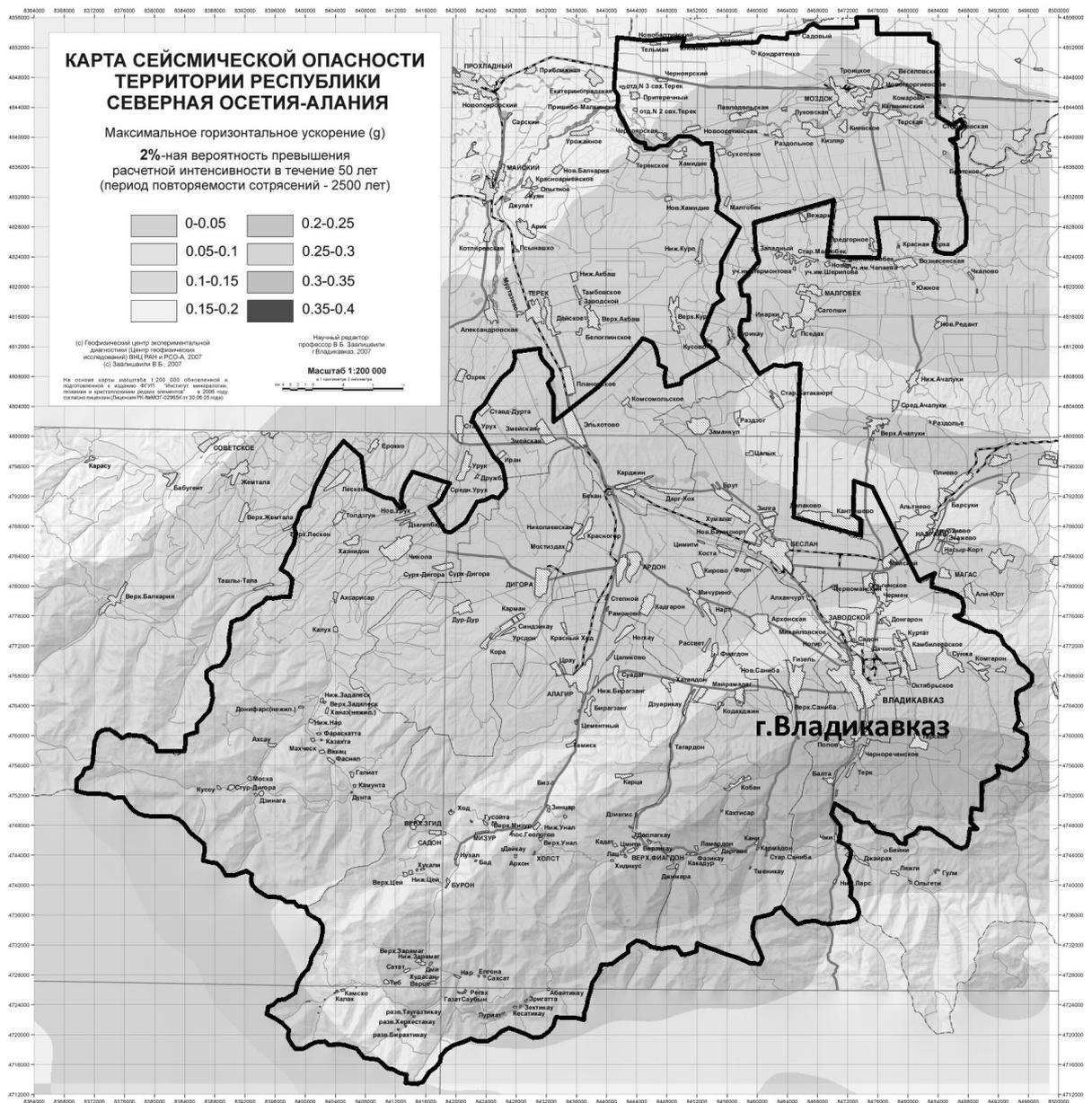
В отличие от мелкомасштабной карты сейсмической опасности масштаба $M 1 : 8\,000\,000$ территории России (общее сейсмическое районирование) карты детального сейсмического районирования в масштабе $M 1 : 200\,000$ позволяют непосредственно учитывать особенности конкретных сейсмических источников (разломов). Но самое главное — районирование в подобном масштабе позволяет учитывать такие особенности для весьма обширных территорий. Хорошо видно, что совмещение разломов на территориях различных субъектов России Северного Кавказа имеет вполне практический смысл (рис. 5).

Создание подобных карт для всего Северного Кавказа — это предложение по созданию детальных карт сейсмической опасности для других субъектов Северного Кавказа. При этом действие, реализованное для Северной Осетии, может охватить территории других субъектов Северного Кавказа. В принципе из-за особенностей простирающихся опасных сейсмических источников, «пренебрегающих» границами государств, можно создать детальные карты сейсмической опасности для всего Кавказа, включая Азербай-



б)

Рис. 4. Вероятностная карта сейсмической опасности в ускорениях (РНА) с вероятностью превышения 5% (а) и 2% (б)



б)

Рис. 4. Вероятностная карта сейсмической опасности в ускорениях (РНА) с вероятностью превышения 5% (а) и 2% (б)

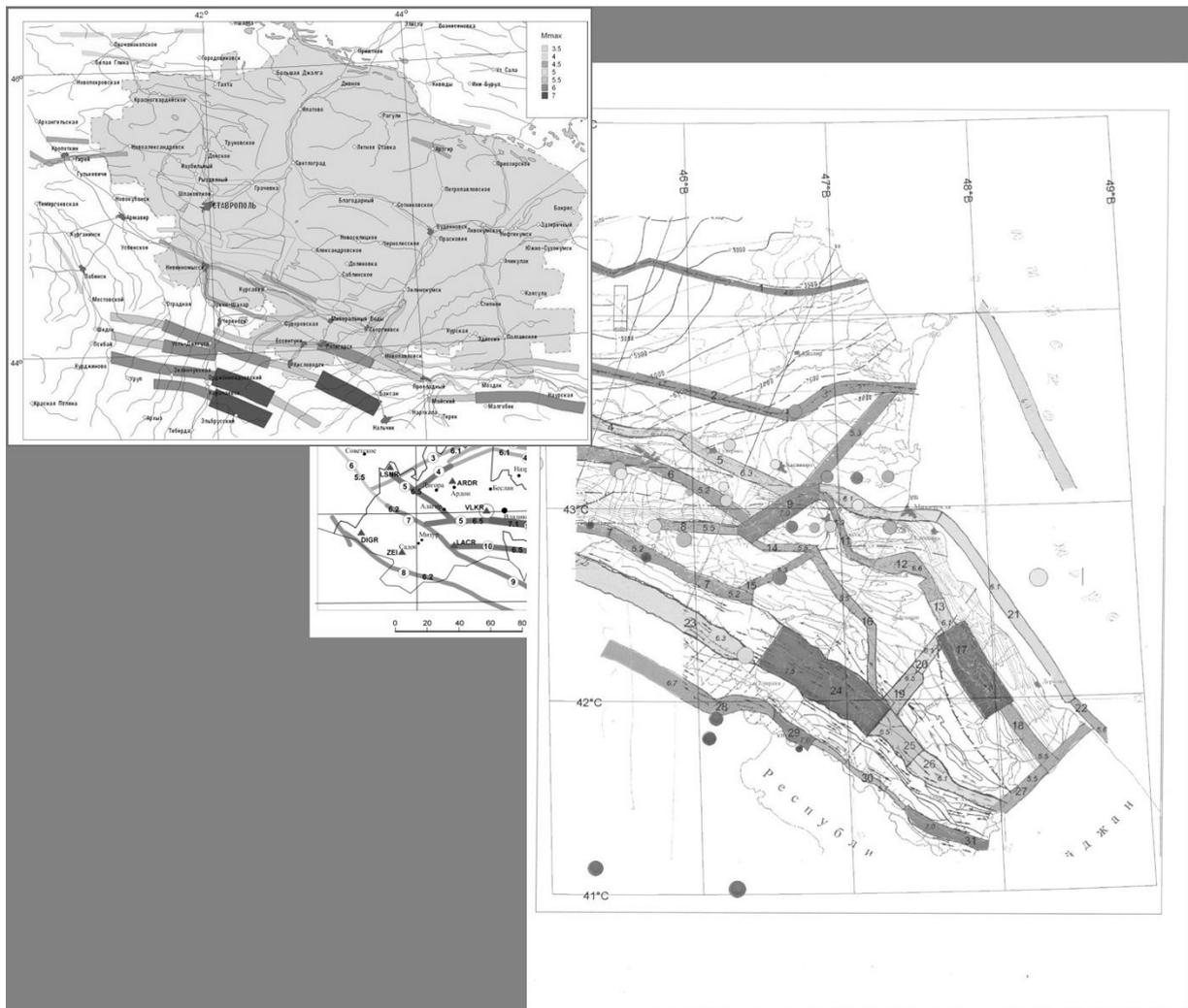


Рис. 5. Объединение опасных сейсмических разломов на территории Северного Кавказа

джан, Армению и Грузию. Ничто не мешает развить их в общности с Турцией, Ираном. Сюда вполне реально включить Израиль, Египет, Ливан и т.д.

Карты детального сейсмического районирования можно назвать «долгосрочными» прогнозными картами. Имеется в виду, что на их основе реализуется долгосрочное прогнозирование опасных явлений и определяется, где необходима сейсмостойкая застройка.

Далее, должны составляться карты сейсмического микрорайонирования городов. Необходимо отметить, что в качестве основы будут использованы карты с различной вероятностью превышения в качестве исходной интенсивности, величина которой прямо соответствует интенсивности участков, сложенных средними грунтами или характеризующихся средними грунтовыми условиями, и которые будут отнесены к 7, 8 или 9 баллам (аналогично и для ускорений). Использование в последующем необходимых методов и способов СМР позволит получить соответствующие карты СМР.

Таким образом, для карт с вероятностью превышения 2%, 5% или 10% получены соответственно карты СМР с вероятностью превышения 2%, 5% или 10%, т.е. вероятностные карты СМР (рис. 6).

Хотя определения схожи, но по сути это совершенно другое «районирование». В отличие от карт детального сейсмического районирования, дающих потенциал и особенности источника, карты сейсмического микрорайонирования дают оценки влияния грунтовых условий (пески, скальные грунты, галечники, глины и т.д., их совокупности, обводненности, рельефа (подземного и поверхностного), спектральный состав приходящих волн, преобладающие частоты колебаний по площади города и т.д.) на формирование интенсивности будущего землетрясения. Масштаб подобных карт составляет, как правило, М 1:10 000, чтобы их данные можно было учесть при строительстве. Карты можно делать еще более детальными (М 1:5 000 и т.д.), но это не имеет смысла, т.к. вид и физическое состояние грунтов в пространстве на площадке территории могут быстро меняться. Самое главное — оценить интенсивность возможных землетрясений на участках с типичными для территории города грунтовыми условиями.

Карты сейсмического микрорайонирования могут строиться для отдельных территорий (как правило, города, населенные пунк-

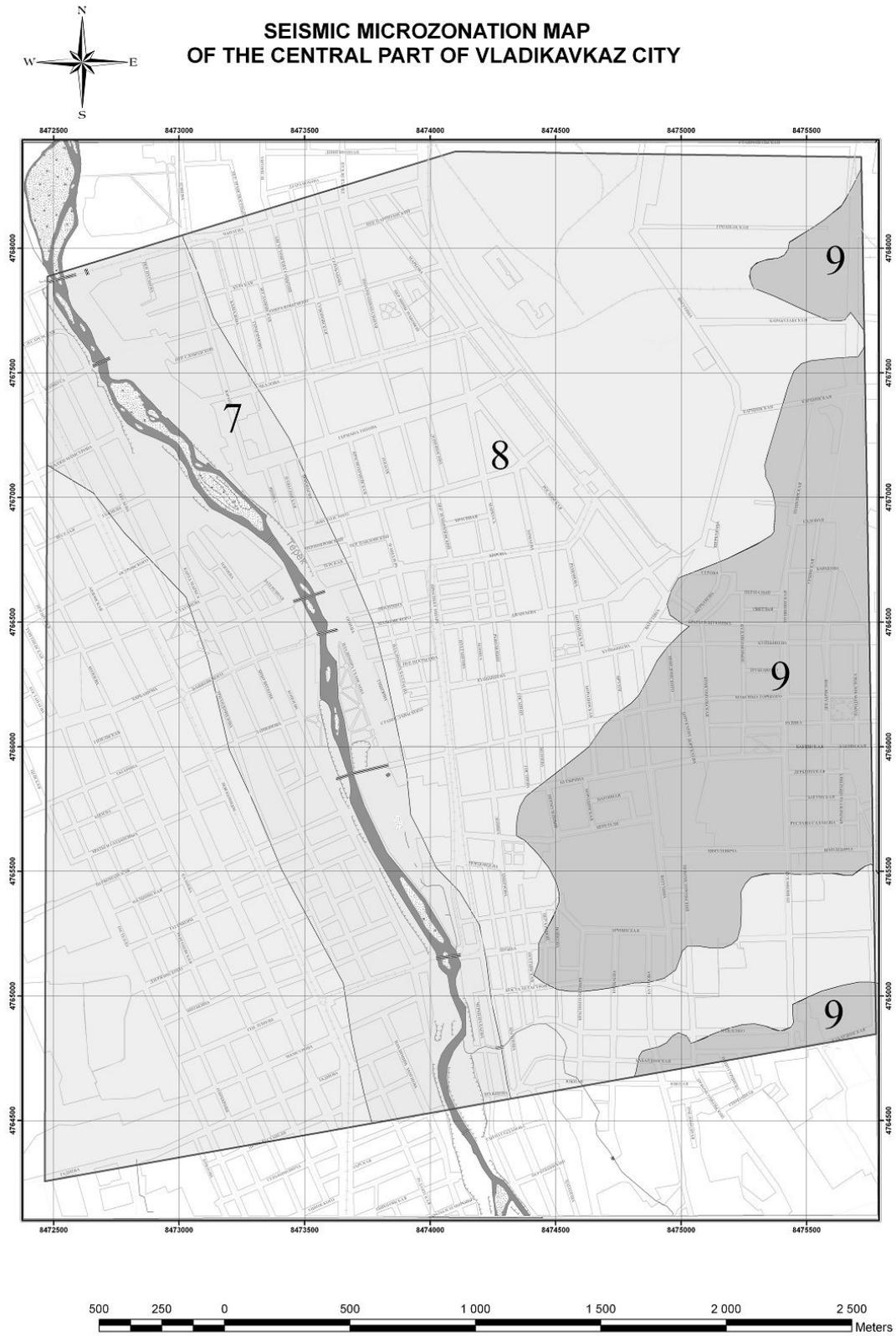
ты). Невозможно составлять их сплошным форматом из-за необходимости полноценного знания геологических условий по большим территориям, большей частью не застроенных. Мы даже для современных городов нередко не имеем таких данных. Это было бы примером «выброшенных на ветер» ресурсов и абсурдности. Другими словами, не может быть карты микрорайонирования даже для территории Северной Осетии, не то что всего Северного Кавказа.

Карты сейсмического микрорайонирования не просто показывают, где нужна сейсмостойкая застройка, они показывают на какую интенсивность рассчитывать то или иное здание и проектировать застройку: на 6, 7 или 8 или 9 баллов, а иногда и на 10 баллов (для очень слабых грунтов). А это предполагает вложение различного финансирования для реализации антисейсмических мероприятий (более толстая арматура, больше связей и т.д.). Застроив адекватной застройкой зоны с 7, 8 и 9 балльной расчетной интенсивностью на территории, например, города, сейсмический риск можно значительно снизить, т.к. социальные потери будут минимальными, хотя здания и будут повреждены в той или иной мере.

В основе подобных карт сейсмического микрорайонирования, кроме указанных разработок лежат материалы из базы данных, созданной по данным локальной сети «Владикавказ». Подобная сеть наблюдения была создана впервые на урбанизированной территории Северного Кавказа в июле 2004 г. Станции расположены на участках с различными, типичными для города грунтами (глины полутвердой и текучей консистенции, галечники с заполнителем более 30% и менее 30% и их совокупность).

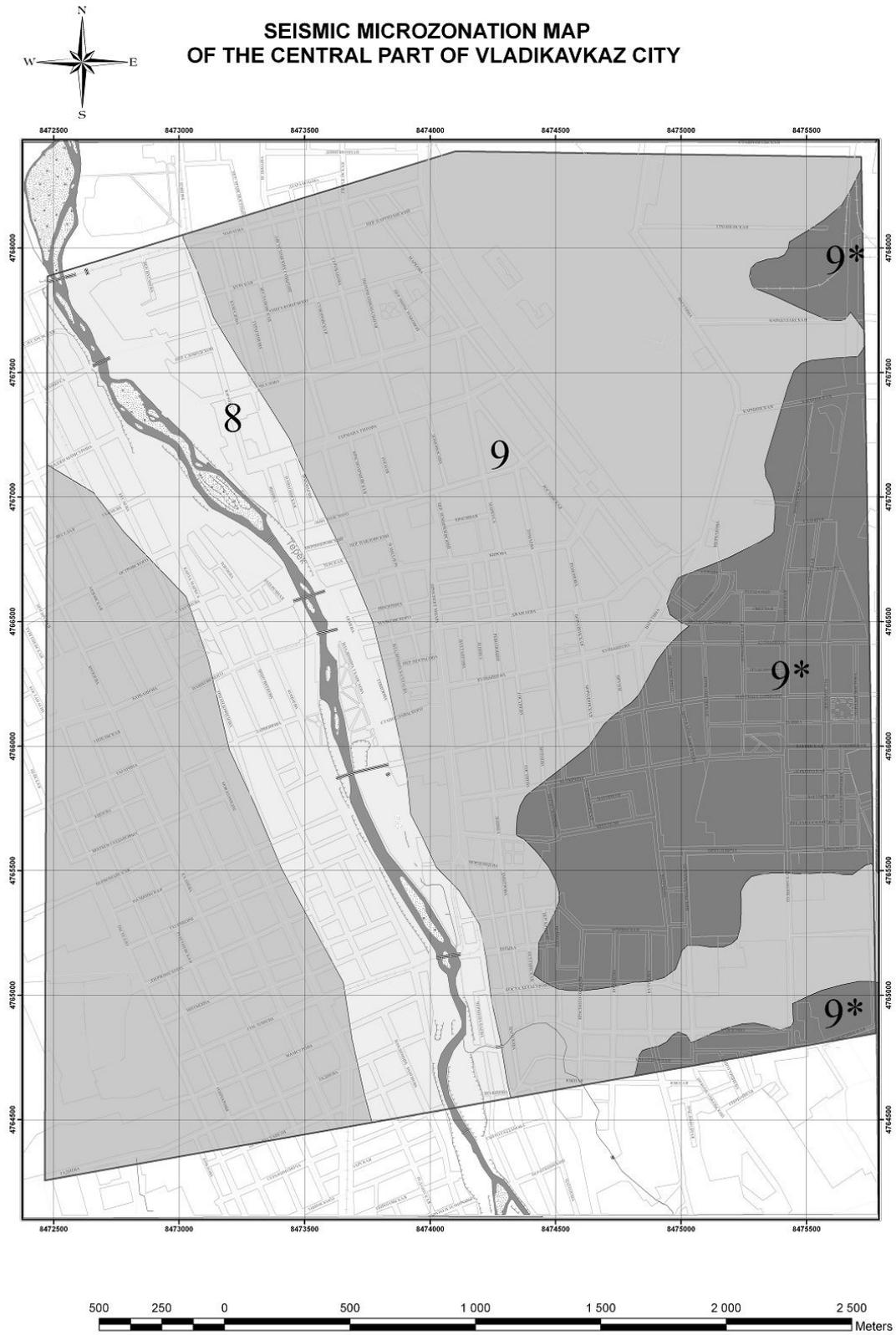
Необходимо отметить, что при использовании карт с большей временной экспозицией, т.е. максимальной магнитудой (максимальной интенсивностью) для данной территории (для повторяемости 50 лет с вероятностью превышения 2% или 1%) обязательно нужно учитывать возможное проявление физической нелинейности грунтов с помощью уже разработанных способов [39–41].

В последние годы в Центре разработан новый инструментально-расчетный метод и новые способы сейсмического микрорайонирования. Совокупность указанных разработок, не имеющих аналогов в мире, и мировых достижений наряду с тесным взаимодействием с коллегами из различных стран мира поз-



a)

Рис. 6. Карты сейсмического микрорайонирования для вероятностей 5% (а) и 2% (б)



б)

Рис. 6. Карты сейсмического микрорайонирования для вероятностей 5% (а) и 2% (б)

волили расширить круг решаемых задач и резко повысить физическую обоснованность конечных результатов.

Особый интерес представляет обоснованность задания сейсмического воздействия в виде акселерограммы. Здесь весьма привлекательным является использование подхода, разработанного на основе учета физических механизмов формирования очага. Если в традиционных расчетах вид воздействия специально задается величинами амплитуды, периода и продолжительности колебаний и т.д., полученных на основании статистической обработки данных прошлого опыта, то в рассматриваемом подходе синтезированная акселерограмма формируется на основе величины максимальной магнитуды, протяженности разлома, глубины очага, эпицентрального расстояния от опасного очага и, несомненно, физически более обоснована. Использование подобного подхода позволяет на исследуемой площадке, помимо уровня интенсивности, получать синтезированные акселерограммы с помощью программы FINSIM (Beresnev, Atkinson). Возможности модели были проверены по записям сильных землетрясений. Изучение достоверности результатов показало, что стохастический конечно-разломный метод, описанный выше, точно воспроизводит грунтовые движения для целого ряда значительных событий, включая землетрясение $M = 8,1$ Мехико (1985), $M = 8,0$ Чили (1985), $M = 5,8$ Квебек (1998) и $M = 6,7$ Нортридж (1994) [42, 43]. Использование подобного подхода позволяет для средних грунтовых условий получать записи, которые далее будут претерпевать искажения, обусловленные распространением приходящей волны в различных видах грунтов, слагающих исследуемую площадку.

4. Конкретный разлом и сейсмическое воздействие

Анализ и последующий учет трансформации исходных синтезированных акселерограмм станет основой прогноза поведения указанных грунтов при сильных сейсмических воздействиях (рис. 7) [44].

Методы подобного моделирования основаны на условии соответствия спектральных свойств искусственного и реального землетрясения. В целом точность критерия моделирования зависит от того, с какой целью должно быть использовано суммарное

движение и точное восстановление характеристик, оказывающих влияние на поведение конструктивной системы, должно быть обязательным.

Источник землетрясения, представляющий собой область разрыва, может рассматриваться в виде точечного на расстояниях, больших по сравнению с размером разлома. На меньших расстояниях становятся значимыми явления, связанные с конечными размерами разлома. Эти явления в первую очередь вызваны конечной скоростью распространения вспарывания, в результате чего отдельные части разлома излучают энергию раньше, чем другие волны, излучаемые с задержками, затем интерферируют, вызывая значительные эффекты направленности [42, 45].

Сопоставим полученные амплитудные спектры расчетных акселерограмм с амплитудным спектром зарегистрированного колебания грунтов от реального землетрясения, сформированного в рассматриваемом источнике. Анализ данных (рис. 8, 9) показывает, что, в целом спектры колебаний от расчетного землетрясения и реального события схожи по их главным показателям.

Необходимо отметить, что наибольшей близостью к расчетному спектру и амплитудой колебаний характеризуется спектр вертикального ускорения. Последний факт вполне очевиден и объясняется близостью к источнику или очагу землетрясения. Действительно, близкие землетрясения, как правило, характеризуются преобладанием вертикальной составляющей. Выбор станции «ГЕА», фундированной на плотные галечники, позволяет свести к минимуму искажение, обусловленное грунтами.

Анализ спектра слабого землетрясения показывает, что максимальные амплитуды или пики наблюдаются на частотах 1,3 и 5,6 Гц (рис. 7). В спектре синтезированного ускорения указанные максимальные амплитуды также наблюдаются. В то же время, реакция среды на сильное землетрясение, несомненно, может отличаться и отличается от реакции на слабое воздействие (рис. 9) [39].

Использование карт ДСР в единицах ускорений на уровне СМР возможно только для расчетного метода, где результаты расчетов даются прямо в единицах ускорений. Традиционный инструментальный метод СМР в настоящее время не позволяет получать результаты приращений интенсивности в ускорениях в силу традиционного

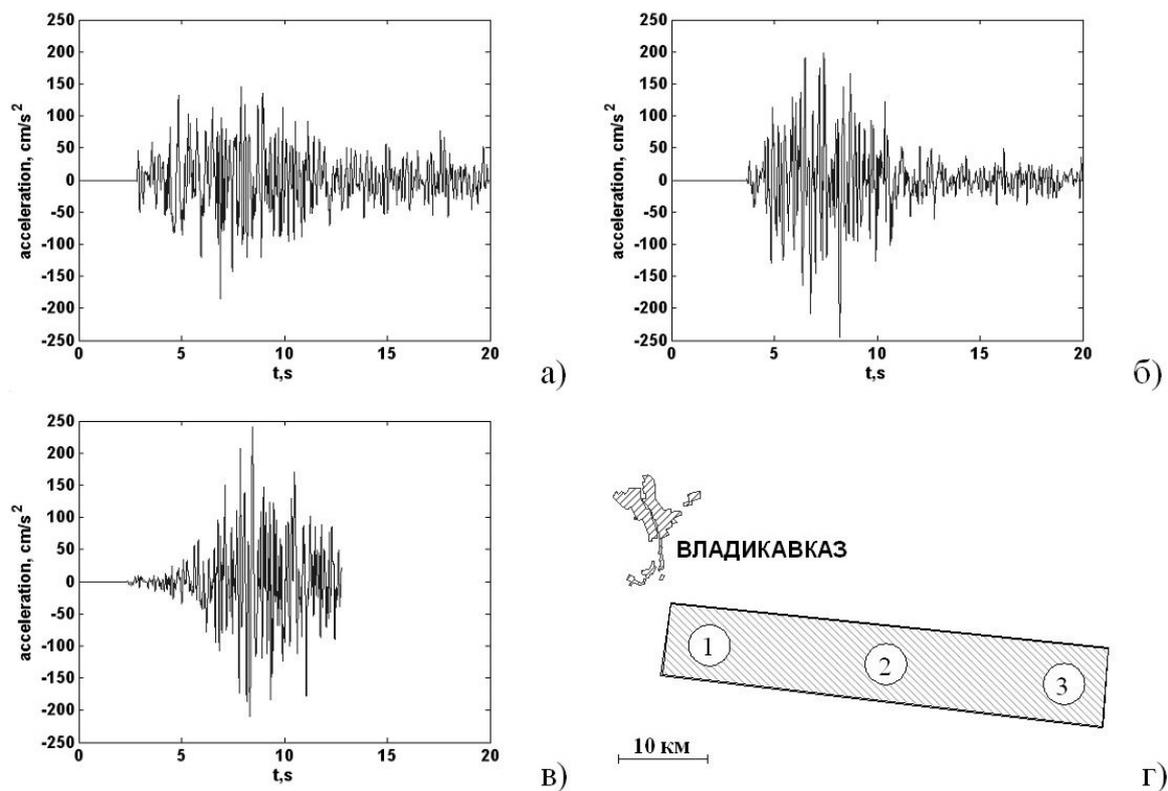


Рис. 7. Синтетические акселерограммы при различном положении очагов: а — западная часть разлома; б — середина разлома; в — восточная часть разлома; г — схема расположения очагов сценарных землетрясений

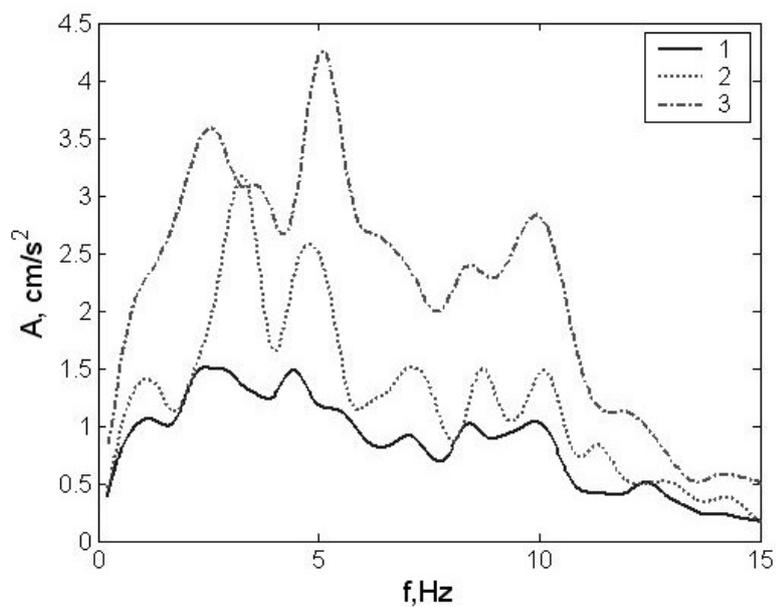


Рис. 8. Спектры синтезированных ускорений колебаний грунта при различном положении очага землетрясения $M = 7$, 1: 1 — западная часть разлома; 2 — середина разлома; 3 — восточная часть разлома

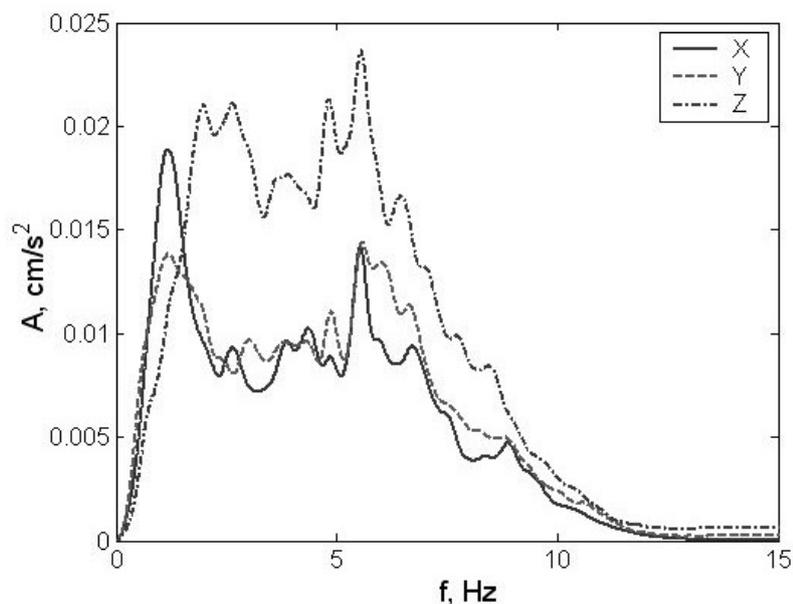


Рис. 9. Спектры ускорений колебаний слабого землетрясения с эпицентром в зоне расположения Владикавказского разлома (станция ТЕА). Сейсмическое событие 25.08.2005 10:25 GMT $H = 8$ км $M = 2,5$, спектр ускорений рассчитан по спектру скоростей

ориентирования исключительно на получение приращений в единицах макросейсмической интенсивности в баллах. Исключение составляет способ изучения ускорений грунта от сильных землетрясений, когда исследователь непосредственно получает записи ускорений сильных движений (при наличии акселерометра) [39]. В то же время, соответствующие исследования нами ведутся и, очевидно, в скором времени проблема будет решена.

С другой стороны, в последние годы разработан новый инструментально-расчетный метод СМР [40]. Новый метод основан на подборке из базы данных сильных движений, включающих около 50 000 записей землетрясений, грунтовых условий, наиболее соответствующих реальным грунтовым условиям исследуемой площадки. Затем производится выбор записей землетрясений с определенными параметрами или их интервалами (магнитуда, эпицентрального расстояние и глубина очага). Далее выполняется пересчет максимальных амплитуд колебаний на заданное эпицентрального расстояние. Коэффициент поглощения может быть вычислен по модели затухания для данного региона.

Таким образом, предложен новый комплексный метод оценки сейсмической опасности территории, предусматривающий на выходе составление вероятностных карт

СМР, являющихся непосредственной основой сейсмостойкого проектирования и практического строительства. Безо всякого сомнения, такой подход значительно повышает физическую обоснованность конечных результатов.

Рассмотренная процедура на уровне создания зон ВОЗ, карт ДСР и СМР в зависимости от конкретных условий на практике может в определенной мере отличаться от изложенной выше. Так, при необходимости возможно проведение палеосейсмогеологических исследований типа «тренинг» [12], позволяющие наиболее обосновано определять повторяемость и другие особенности реализации природных сейсмических событий.

В настоящее время созданы условия для разработки карт типа ДСР, подобные описанным выше для всей территории Северного Кавказа по самой совершенной методике на основе современных достижений инженерной сейсмологии. Это позволит далее провести работы, связанные с созданием вероятностных карт СМР с использованием мощных невзрывных источников колебаний, методик и разработок, позволяющих учитывать физическую нелинейность грунтов [41].

Выводы

1) Представлен новый комплексный метод оценки сейсмической опасности территории, впервые предусматривающий на выходе составление вероятностных карт СМР, являющихся непосредственной основой сейсмостойкого проектирования и практического строительства. Такой подход значительно повышает физическую обоснованность конечных результатов.

2) Для изучения сейсмичности и анализа сейсмической опасности территории составляются следующие базы данных: макросейсмическая, сейсмологическая, а также зон ВОЗ (или потенциальных очагов землетрясений — ПОЗ). На основе анализа различных данных (сейсмологических, геологических, геофизических и т.д.) составляется набор вероятностных карт сейсмической опасности территории для повторяемости 50 лет с вероятностью превышения 2%, 5% и 10%.

3) Эффект землетрясения оценивается на основе использования двух различных параметров: макросейсмической интенсивности (MSK-64) и пикового ускорения основания (PGA). Границы зон в обеих единицах (балл и ускорение) находятся в хорошем соответствии. Варьируя шаг сглаживания, карты в единицах ускорений, характеризуясь непрерывностью значений, позволяют, в отличие от традиционного подхода с резкой сменой границ, получать непрерывные значения ускорений или смену границ с любым сглаживанием вплоть до традиционных.

4) Созданный комплект карт позволяет обеспечить одинаковую степень риска в пределах территорий, охватываемых каждой из карт, и предназначен для сейсмостойкого строительства и разработки мер по снижению сейсмического риска для разных категорий степени ответственности и сроков службы.

5) Предложено использовать карты 5%-й вероятности для массового, т.е. основного строительства, а карты 2%-й вероятности — для строительства объектов повышенной ответственности.

6) Подход, основанный на знании физических механизмов очага, обуславливает получение синтезированных акселерограмм, формируемых на основе величины максимальной магнитуды, протяженности разлома, реального эпицентра от опасного очага и, несомненно, физически наиболее обоснован.

7) Для каждой из вероятностных карт разработаны карты сейсмического микрорайонирования выделением зон с различной прогнозируемой интенсивностью (7,8,9,9*). Аналогичные карты в единицах ускорений показывают сходственные результаты.

8) Использование в качестве исходных данных сценарных синтезированных записей, например, с учетом характеристик разломов, позволяет учитывать трансформацию исходных акселерограмм, обусловленную свойствами грунтов территории.

9) Комплексный подход, основанный на современных достижениях инженерной сейсмологии, позволяет значительно повысить адекватность или обоснованность оценок и снизить погрешности сейсмостойкого проектирования и строительства.

10) Рассмотренная процедура на уровне создания зон ВОЗ, карт ДСР и СМР на практике может несколько отличаться от представленной.

11) Возможность проведения исследований по составлению карт сейсмической опасности типа детального сейсмического районирования (ДСР) на основе самых совершенных полевых методов исследований и анализа для каждого из субъектов Северного Кавказа по отдельности в масштабе 1:200 000 позволит в последующем связать воедино в одну карту ДСР всего Северного Кавказа, когда равномасштабные зоны ВОЗ будут объединены в одну общую сеть зон ВОЗ.

12) Это позволит более целенаправленно проводить работы по сейсмическому микрорайонированию территорий (СМР) не формально, а с учетом особенностей того или иного региона на основе использования тех или иных самых совершенных методов и способов СМР для создания вероятностных карт СМР — непосредственной основы сейсмостойкого проектирования и строительства.

Литература

1. *Cornell C. A.* Engineering risk in seismic analysis // *Bull. Seism. Soc. Am.* 54 1968. P. 583–1606.
2. *McGuire R.* Probabilistic Seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. 1995. Vol. 83. No. 5. P. 1275–1284.
3. *Bazzurro P., Cornell C. A.* Disaggregation of Seismic Hazard // *Bull. Seism. Soc. Am.* 1999. Vol. 98. No 2. P. 501–520.
4. *McGuire R.* FORTRAN computer program for seismic risk analysis, US Geological Survey, open file report. 1976. P. 76–67.

5. *McClusky S., Balassanian S., Barku C. et al.* Global Position System constraints on plate kinematics and dynamics of the Mediterranean and Caucasus // *J. Geophys. Res.* 2000. Vol. 105. No. B3. P. 55695–5719.
6. *Хромовский В. С., Солоненко В. П., Семенов Р. П., Жилкин В. М.* Палеосейсмогеология Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 188 с.
7. *Рогожин Е. А., Богачкин Б. М., Нечаев Ю. В.* Сейсмотектонические значения поперечной зональности северо-западной части Большого Кавказа // Построение моделей развития сейсмического процесса. Гос. науч.-тех. Программа России: Глобальные изменения природной среды и климата. М.: ОИФЗ, 1993. С. 139–148.
8. *Рогожин Е. А., Остач О. М., Джибсон Р. и др.* Интенсивное оползнеобразование в Ставропольском крае как пример «тихой» природной катастрофы // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений: Инф.-анал. Бюл. 1994. С. 114–120.
9. *Рогожин Е. А., Нечаев Ю. В. и др.* Тенденция развития сейсмичности Кавказа и сейсмогенерирующие зоны Ставрополья // Разведка и охрана недр. 1998. № 2. С. 23–28.
10. *Рогожин Е. А., Страхов В. Н., Юнга С. Л.* Новая концепция прогноза землетрясений // Комплексирование сейсмологических и наземно-космических геофизических методов в целях среднесрочного и краткосрочного прогноза землетрясений. М.: ОИФЗ РАН. 1999. С. 13–18.
11. *Трифонов В. Г.* Неотектоника Евразии. М.: Научный Мир, 1999. 252 с.
12. *Рогожин Е. А.* История активности сейсмогенерирующих структур Северной Евразии в голоцене // ДАН. 2000. Т. 370. № 3. С. 390–392.
13. *Рогожин Е. А., Овсяченко Н. И.* Соотношение геологической и сейсмической составляющих современных движений на Северном Кавказе // Тектоника Неогена. Общие и региональные аспекты: Материалы XXXIV Тектон. Совещ. М., 30 янв. – 3 февр. 2001 г. М.: ГЕОС, 2001. Т. 2. С. 145–148.
14. *amkrelidze I., Giorgobiani T., Kuloshvili S., Lobjanidze G., Shengelaia G.* Active Deep Faults Map and the Catalogue for the Territory of Georgia // *Bulletin of the Georgian Academy of Sciences.* 1998. Vol. 157. No. 1. P. 80–85.
15. *Ulomov V. I., Shumilina L. S., Trifonov V. G. et al.* Seismic Hazard of Northern Eurasia // *Annali di Geofisica.* 1999. Vol. 42. No. 6. P. 1023–1038.
16. *Рогожин Е. А.* Сейсмотектоника центрального сектора Большого Кавказа как основа для сейсмического мониторинга и оценки сейсмической опасности // Вестник Владикавказского научного центра. 2009. Т. 9. № 4. С. 16–22.
17. *Рейснер Г. И., Иогансон Л. И.* Комплексная типизация земной коры как основа для решения фундаментальных и прикладных задач. Статья 1 и 2 // Бюлл. МОИП. 1997. Отд. геол. Т. 72. Вып. 3. С. 5–13.
18. *Рогожин Е. А., Рейснер Г. И., Иогансон Л. И.* Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами // Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики: Избр. Науч. Тр. / Под ред. акад. В. Н. Страхова. М.: ОИФЗ РАН. 2001. С. 279–300.
19. *Аракелян А. Р., Заалишвили В. Б., Макиев В. Д., Мельков Д. А.* К вопросу сейсмического районирования территории республики Северная Осетия-Алания // Труды I международной конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа», Владикавказ, 20–22 сентября 2007. Владикавказ. 2008. С. 263–278.
20. *Рогожин Е. А., Овсяченко А. Н., Мараханов А. В., Новиков С. С., Дзеранов Б. В., Мельков Д. А.* Отчет о научно-исследовательской работе «Изучение следов возможных проявлений сейсмической активности в зоне Владикавказского глубинного разлома», выполненного по теме «Современная геодинамика, сейсмическое районирование, риск, регистрация сигналов, создание баз данных и сейсмостойкое строительство в горных регионах». Владикавказ, 2008. Т. 1. Книга 8. 33 с. № гос. регистрации 01200701676.
21. *Рогожин Е. А.* Сейсмотектоника центрального сектора Большого Кавказа как основа для сейсмического мониторинга и оценки сейсмической опасности // Вестник Владикавказского научного центра. 2009. Т. 9. № 4. С. 16–22.
22. *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.
23. *Chelidze T., Javakhishvili Z.* Natural and technological hazards of territory of Georgia: implications to disaster management // *Journal of Georgian Geophysical Society.* Issue (A) Solid Earth. 2003. Vol. 8. P. 3–18.
24. *Бюс Е. И.* Сейсмические условия Закавказья: Ч. I; II; III. Тбилиси: АН СССР, 1948; 1952; 1955. 304 с.; 176 с.; 131 с.
25. *New Catalogue of strong Earthquake in the USSR from Ancient times through 1977.* (1982) NOAA, USA. P. 15–21.
26. *Рогожин Е. А., Габсатарова И. П., Погода Э. В.* Зоны ВОЗ и сейсмичность территории Республики Северная Осетия-Алания // Сейсмичность Северной Евразии. Мат. Междунар. конф., посвященной 10-летию выпуска сб. научн. тр. «Сейсмичность Северной Евразии». Обнинск, 2008. С. 243–249.

27. *Смирнова М. Н., Бражник В. М., Чуприн В. В., Дадашев С. Г.* Геодинамика и нефтегазоносность Грозненской купольно-кольцевой структуры (по геолого-геофизическим данным) // Поиски и освоение месторождений термальных вод Дагестана. Махачкала: Ин-т проблем геотермии Даг Фан СССР. 1984. Вып. 1. С. 30–39.
28. *Чартарян Э. А.* Сейсмичность и хронология землетрясений юга Северо-Осетинской АССР // Сейсмологический бюллетень Кавказа, 1979 г. Тбилиси: Ин-т геоф. 1982. С. 227–245.
29. *Богачкин Б. М., Борисов Б. А., Рогожин Е. А.* Рачинское землетрясение 29 апреля 1991г.: Результаты геологического обследования // Физика Земли. 1992. №8. С. 12–23.
30. *Javakishvili Z., Varazanashvili O., Butikashvili N.* Interpretation of the Macroseismic field of Georgia // Journal of Georgian Geophysical Society. Issue (A) Solid Earth. 1998. Vol. 3. P. 85–88.
31. *Balassanian S., Ashirov T., Chelidze T., Gassanov A., Kondorskaya N., Molchan G., Pustovitenko B., Trifonov V., Ulomov V., Giardini D., Erdik M., Ghafory-Ashtiany M., Grunthal G., Mayer-Rosa D., Schenk V., Stucchi M.* Seismic Hazard Assessment for the Caucasus Test Area // Annali Di Geofisica. 1999. Vol. 42. No. 6. P. 1139–1151.
32. *Balassanyan S., Nazaretyan S., Avanesyan, Arakelian A., Igumnov V., Badalian M., Martirosian A., Ambartsumian V., Tovmassian A.* The new seismic zonation map for the territory of Armenia // Natural hazards. 1997. Vol. 15. P. 231–249.
33. *Balassanyan S., Martirosian A., Nazaretyan S., Arakelian A., Avanesyan Igumnov V., Ruttener E.* Seismic Hazard assessment in Armenia // Natural hazards. 1999 b. Vol. 18. P. 227–236.
34. *Джавахишвили З. Ш.* Анализ сейсмической опасности, сейсмичность площадки высотной плотины Ингури // Геодинамическая опасность высотных плотин. Тбилиси. 2002. С. 88–96.
35. *Javakishvili Z., Godoladze T., Elashvili M., Mukhadze T.* The Tbilisi earthquake of April 25, 2002 in the context of the seismic hazard of Tbilisi urban area // Bolletino di geofizika: Teorica ed Applcata. September 2004. Vol. 45. No. 3. P. 169–185.
36. *Arakelyan A., Asatryan L., Melikyan A., Margaryan S., Durgaryan R.* “Background” seismic hazard assessment for Achapnyak community of Yerevan-City. (Submitted on May 12, 2006 for publication in the Collection // “Seismic Hazard and Risk”, Proceedings of the 1st All-Russian school-seminar of young-scientists held on October 19–22, 2005).
37. *Smit P., Arzmanian V., Javakishvili Z., Arefiev S., Mayer-Rosa D., Balassanian S., Chelidze T.* The Digital Accelerograph Network in the Caucasus. In: “Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction” // Kluwer Academic Publishers. 2000. P. 109–118.
38. *Bender B., Perkins D. M.* SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation // US Geological Survey Bulletin. 1987. 1772. 48 p.
39. *Заалишвили В. Б.* Физические основы сейсмического микрорайонирования. М.: ОИФЗ РАН, 2000. 367 с.
40. *Заалишвили В. Б.* Основы сейсмического микрорайонирования. Владикавказ: ВНЦ РАН и PCO-A. 2006. 242 с.
41. *Заалишвили В. Б.* Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и крупных строительных площадок. М.: Наука, 2009. 350 с.
42. *Beresnev I. A., Atkinson G. M.* Modeling finite fault radiation from ω^n spectrum // Bull. Seism. Soc. Am. 1997. Vol. 87. P. 67–84.
43. *Beresnev I. A., Atkinson G. M.* Stochastic finite-fault modeling of ground motions from the 1994 Northridge, California earthquake. I. Validation on rock sites // Bull. Seism. Soc. Am. 1998a. P. 1392–1401.
44. *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.
45. *Beresnev I. A., Atkinson G. M.* FINSIM – a FORTRAN program for simulating stochastic acceleration time histories from finite faults // Seismological Research letters. 1998b. Vol. 69. No. 1. С. 27–32.

Ключевые слова: сейсмическая опасность, зоны ВОЗ, детальное сейсмическое районирование, сейсмическое микрорайонирование.

Статья поступила 19 января 2012 г.

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

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН

© Заалишвили В. Б., Рогожин Е. А., 2012