

МИНСТРОЙ РОССИИ

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ г.ГРОЗНОГО

(Уточнение исходной сейсмичности.
Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск)



МОСКВА 1996 г.

Минстрой России
Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве
(ПНИИИС)
ГО «РОССТРОЙИЗЫСКАНИЯ»
Международная академия информатизации
Отделение «Геоэкологическая информатика»

В.Н.Аверьянова, Ю.И.Баулин, Г.Л.Кофф, А.И.Лутиков,
И.Г.Миндель, С.А.Несмеянов, В.В.Севостьянов

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНОГО

(Уточнение исходной сейсмичности.
Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск)

Научный редактор
профессор С.И.Полтавцев

Спасибо Академику Чертоку
с группой от эффективного
и яркого, вышедшего в Грузии
в величие супа (шашлыка).

Москва, 1996 г.

97, 09, 11.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Часть I. Уточнение исходной сейсмичности для территории г. Грозного	5
1. Тектонические условия региона (С.А.Несмиянов, О.А.Воейкова, М.Ю.Никитин, Е.Л.Рогожин, Л.И.Серебрякова)	5
1.1. Неотектоническое районирование	5
1.2. Историко-тектоническое районирование	15
1.3. Материалы по современным тектоническим движениям	18
1.4. Основные типы лововых структур	22
2. Сейсмический режим Северо-Восточного Кавказа (А.И.Лутиков)	23
2.1. Исходные сейсмологические материалы	23
2.2. Сейсмический режим Центрального и Восточного Кавказа	25
2.3. Сейсмический режим территории УИС	29
2.4. Наблюденные максимальные магнитуды землетрясений	37
3. Сейсмогенерирующие структуры (С.А.Несмиянов, А.И.Лутиков, Ю.К.Цукин, Г.Ю.Донцова)	38
3.1. Приноверхностное отражение сейсмогенерирующих структур	39
3.2. Отражение сейсмогенерирующих структур в глубинном строении по геофизическим данным	40
3.3. Сейсмотектонические области	41
4. Макросейсмическое поле, основные зоны ВОЗ и сейсмическая сотрясаемость (С.А.Несмиянов, А.И.Лутиков, В.Н.Аверьянова, И.П.Габсатарова, Г.Ю.Донцова, А.И.Захарова, Н.Т.Мокрушина)	48
4.1. Параметры уравнения макросейсмического поля	48
4.2. Макросейсмический эффект землетрясений на территории г. Грозного	51
4.3. Выделение основных зон ВОЗ	52
4.4. Оценка сейсмической сотрясаемости г. Грозного и близлежащих населенных пунктов	55
Часть II. Уточнение инженерно-сейсмических условий и составление схематической карты сейсмического микрорайонирования территории г. Грозного	57
1. Общая характеристика природных условий района г. Грозного (Ю.И.Баулин, Л.Г.Кушнир)	58
2. Характеристика инженерно-геологических условий территории г. Грозного (В.М.Семенов, Ю.И.Баулин, А.М.Манохин, В.В.Морозов, Г.Л.Кофф, М.Н.Смирнова, В.А.Юзлов, В.С.Зильберг)	60
2.1. Геоморфологические условия	60
2.2. Геологическое строение	60
2.3. Гидрогеологические условия	61
2.4. Активные разрывные нарушения	62
2.5. Физико-механические свойства грунтов	65
2.6. Физико-геологические процессы и явления	65
3. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Грозного (И.Г.Миндель, В.Н.Аверьянова, Ю.И.Баулин, Б.А.Трифонов)	67
3.1. Скоростные характеристики грунтов	67
3.2. Спектральные характеристики колебаний грунтов по записям взрывов	68
3.3. Спектральные характеристики колебаний грунтов по записям микросейсм	69
3.4. Оценка характеристик сейсмических воздействий в эталонных грунтово-геологических условиях	69
3.5. Расчеты сейсмических параметров грунтов, выделенных на схематической карте сейсмического микрорайонирования	76
3.6. Схематическая карта сейсмического микрорайонирования	80
Часть III. Оценка сейсмического риска, уязвимости и ущерба	81
1. Оценка сейсмического риска (В.В.Севостьянов, И.И.Бархатов, А.И.Лутиков)	81
1.1. Основные положения методики оценки сейсмического риска	82
1.2. Количественная оценка и картирование сейсмического риска	85
1.3. Характеристика застройки территории г. Грозного	85
1.4. Карты сейсмических рисков	88
2. Опыт оценки сейсмической уязвимости жилой застройки с учетом военных повреждений и расчет потенциального экономического ущерба жилой застройки от прогнозного землетрясения (Г.Л.Кофф, М.В.Карагодина)	94
Заключение	99
Литература	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая монография написана на основе работ по теме «Комплексная оценка сейсмической опасности территории г. Грозного», выполненных по заказу Минстроя России в 1995 году. Актуальность исследований была связана прежде всего с изменением исходной (фоновой) сейсмичности региона с 6-7 (СНиП 11-7-81), до 8-9 баллов в соответствии с «Временной схемой сейсмического районирования Северного Кавказа». На этой схеме исходный сейсмический балл для Грозного повысился с 7 до 9.

Резкое изменение исходного балла, наряду с техногенным изменением инженерно-геологических условий территории города, потребовало разработки практически новой карты сейсмического микрорайонирования (СМР) и соответственного уточнения величины исходной сейсмичности (УИС).

Учитывая поставленные заказчиком чрезвычайно сжатые сроки (4-5 месяцев) и специфические условия в Чеченской Республике, работы проводились главным образом на основе анализа и обобщения имеющихся геолого-геофизических, сейсмологических, сейсмотектонических, инженерно-геологических и других необходимых материалов с минимальными уточняющими полевыми работами.

Для проведения комплексной оценки сейсмических условий и прогноза возможных последствий сильных землетрясений были поставлены и решены три основные задачи:

1. Уточнить величину исходного сейсмического балла для г. Грозного. Масштаб исследований 1:500000.
2. Разработать схематическую карту сейсмического микрорайонирования территории города в масштабе 1:10000.
3. Разработать схематическую карту сейсмического риска, дать оценку возможных ущербов от прогнозируемых землетрясений.

Для решения поставленных задач был использован комплекс как традиционных, так и новых оригинальных методик, разработанных в ПНИИС, ОИФЗ, ИЛСАНе. Основные организации исполнители работ: ПНИИС, ГО Росстройизыскания, кроме этого в работе принимали участие многие специалисты из других организаций.

Все основные разделы монографии составлены коллективно. Часть I написана С.А.Несмеяновым, А.И.Лутиковым, В.Н.Аверьяновой при участии О.А.Воейковой, Г.Ю.Донцовой (ПНИИС); А.И.Захаровой, Н.Г.Мокрушиной, Е.А.Рогожина (ОИФЗ РАН); М.Ю.Никитина (МГУ); Л.И.Серебряковой (ЦНИИГАиК); Ю.К.Щукина (НПО «Нефтегеофизика»); И.П.Габсатаровой (ГГ РАН г. Обнинск).

Часть II составлена Ю.И.Баулиным, Л.Г.Куширом, А.М.Манохиним, В.М.Семеновым (ГО Росстройизыскания); Г.Л.Коффом, В.А.Козловым, М.Н.Смирновой (ИЛСАН); В.Н.Аверьяновой, И.Г.Минделем, Б.А.Трифоновым (ПНИИС); В.В.Морозовым (КавТИСИЗпроект).

Часть III написана В.В.Севостьяновым, И.И.Бархатовым, А.И.Лутиковым при участии П.В.Корбутяка (ПНИИС) и с использованием материалов Б.А.Кирикова, С.И.Чигрина (ЦНИИСК); Р.Н.Заргаряна, М.Г.Крестмейна, Л.А.Козловой (Гипрогор).

Раздел 2 части III написан Г.Л.Коффом, М.В.Карагодиной (ИЛСАН). В связи с большим количеством участников работы на титульный лист вынесены основные ответственные исполнители (соавторы), а в «Содержании» перечислены все соавторы.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.А.Андреевой, Э.И.Говорковой, Ю.П.Соколовой, Л.В.Слыщевой, И.Э.Тумановой за неоценимую помощь в оформлении монографии.

ЧАСТЬ I. УТОЧНЕНИЕ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНОГО

1. ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА

Тектонические условия региона, применительно к выделению зон ВОЗ определяются неотектоническим и историко-тектоническим районированием, а также современной активностью наиболее крупных разрывных структур - зонных зон.

1.1. Неотектоническое районирование

Неотектоническое районирование отражает тектонические структуры, часть из которых является притиверхностным отражением глубинных сейсмогенерирующих структур. Наиболее известной, опиравшейся на традиционные методики, является макромасштабная схема неотектоники, разработанная Е.Е. Милановским [1]. Позднее предлагались схемы, отражающие мобилистские построения [2, 9] и схемы, предполагавшие приоритет поперечных структур [3]. По всем эти схемы были настолько макромасштабны, что их детальность не удовлетворяла требованиям уточнения исходной сейсмичности на современном уровне.

В настоящее время разработаны и опробованы в различных регионах, в том числе на Большом Кавказе, методики более детального неотектонического районирования [4-8, 10-12], которые позволяют выделить сложную иерархию новейших структур, в том числе поперечные и нововьеские структуры.

а. Общая схема районирования

Общая схема основных новейших структур региона в целом достаточно полно соответствует предложенной еще в 50-х годах Е.Е. Милановским [1]. Однако границы этих структур уточнены, а их внутреннее строение существенно детализировано. И эта детализация позволяет в ряде случаев пересмотреть представления о тектодинамической обстановке ряда крупнейших структур.

В пределы рассматриваемого региона частично заходят (рис. 1.1): 1) платформенная область Предкавказья, представленная здесь северным шelfомеритиальным крылом Терско-Каспийской впадины; 2) система северных краевых (предгорных) прогибов, представленная Терским и Северо-Дагестанским участками Терско-Дагестанского прогиба; 3) сводово-западные структуры Восточного сегмента мегасвода Большого Кавказа; 4) типы Закавказских межгорных прогибов, в частности Куринский прогиб.

Распределение различных типов поперечных разрывов, флексур, молодых иноруций и т.д. позволяло проатрассировать две трансрегиональных поперечных структуры северо-свири-южного проширения - Нальчикскую и Грохоленскую. Они в целом могут рассматриваться как широкие зоны поперечного дробления и структурной перестройки.

Западная из этих двух зон - Нальчикская, шириной до 70 км пересекает все выделенные в регионе орогенетические и платформенные новейшие структуры в непосредственной близости от рассматриваемого региона. Эта зона (а на юге - служащий ее постоянным краем Беленгийский разрыв) является рубежом между: 1) Ставропольским сводом и северным крылом Терско-Каспийской впадины; 2) Лабино-Малкинской зоной северного крыла мегасвода и Терско-Дагестанским краевым прогибом; 3) различно построенным Центральным и Восточным сегментами мегасвода Большого Кавказа. Практически только в ней к востоку от Ишхеко-Адлерской поперечной зоны имеются крупные поперечные разрывы. А по одному из них, Беленгийскому, отчетливо фиксируются право-сдвиговые смещения. Следует отметить, что принятая в данном случае трактовка рубежа между Центральным и Восточным сегментами мегасвода Большого Кавказа отличается от общепринятой, когда эта граница трактуется существенно восточнее, в частности, по Кабек-Цхинвальской зоне поперечных нарушений [1]. Оттого полученные материалы можно считать Нальчикскую зону и ее Беленгийский сдвиг более крупной структурой, существенное влияние на перестройку структурного плана мегасвода. В связи с этим перегматерено вытурение строения Восточного сегмента прототипического мегасвода Большого Кавказа, особенно его зоны центральных поднятий.

с ошибкой 0,1 градуса при среднем ~ 0,21 градуса; магнитуды исторических землетрясений определялась преимущественно с ошибкой 0,5 единицы магнитуды при среднем около 0,7, а магнитуды инструментальных землетрясений — преимущественно с ошибкой 0,2 при среднем около 0,3. Ошибки определения глубин очагов варьируют в среднем в два раза в ту или иную сторону от их средних значений.

Поэтому, точность используемых сейсмологических данных такова, что говорить о картировании сейсмической опасности в масштабе 1:500 000 можно с весьма большой степенью условности. Ее реальное картирование в принципе вряд ли возможно в масштабе более крупном, чем 1:1000 000. Примерно такой же в настоящее время является и точность картирования основных геофизических полей.

2.2. Сейсмический режим Центрального и Восточного Кавказа

Сейсмический режим на Кавказе изучался многими исследователями. Достаточно упомянуть работы Ю.В.Ризниченко, В.И.Буно, И.В.Ананьина, Э.Л.Джигладзе и др. [50, 28, 5]. Однако, в большинстве своем эти исследования выполнялись в достаточно мелком масштабе (для целей ОСР) или имели специализированный характер [8]. Имеются лишь немногочисленные работы, в которых изучение сейсмического режима проводилось в масштабах ДСР или УИС [7, 33]. Не изучался сейсмический режим и с позиций оценки сейсмической опасности Чеченской Республики, географически занимающей центральное место на Северо-восточном Кавказе.

Для определения параметров сейсмического режима использовался составленный нами уже упомянутый Уточненный каталог землетрясений Центрального и Восточного Кавказа с магнитудами $M \geq 3.5$. Общее представление о распределении числа землетрясений различных магнитуд по годам дают таблицы 2.3 и 2.4, а на рис.2.1 приведена схема эпицентров сильных ($M \geq 4.3$) землетрясений. На схеме землетрясения отображены кружками, диаметр которых определяется их магнитудой.

Таблица 2.3

Распределение числа землетрясений с магнитудами 4.3–7.2 с 01 по 1899 гг. (в скобках дано число афтершоков)

M, Годы	01–1000	1001–1500	1501–1700	1701–1800	1801–1900	1901–1999	N ₁
4.3–4.7	3	4	1	7	11	30	56
4.8–5.2	4	6	5	5	7(4)	14(1)	33(5)
5.3–5.7	6	8	1	1	3	6(1)	28(1)
5.8–6.2	3	3	2	0	0	6	15
6.3–6.7	1	1	1	0	2	1	6
6.8–7.2	0	1	1	0	0	0	2

Таблица 2.4.

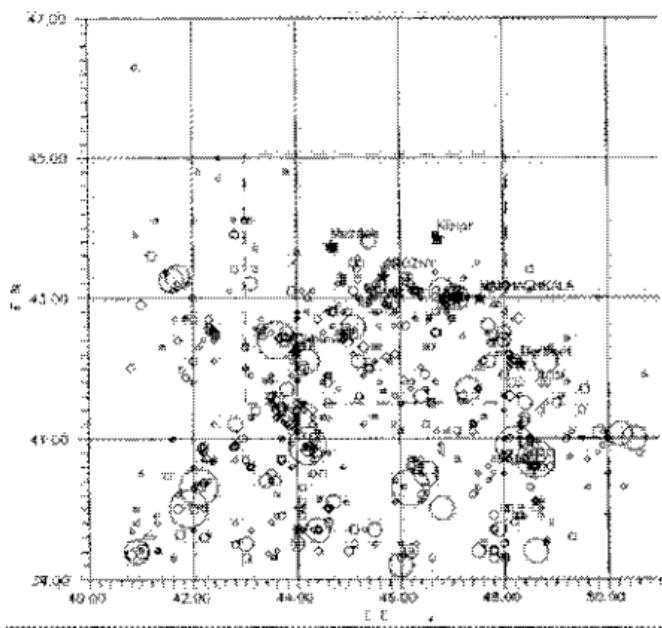
Распределение числа землетрясений с магнитудами 3.8–7.2 с 1900 по 1992 гг.

M, Годы	1900–09	10–19	20–29	30–39	40–49	50–59	60–69	70–79	80–92	N ₁
3.8–4.2	18	9	5	9	13	27	96	113	99	306
4.3–4.7	3	15	17	23	18	44	30	33	29	228
4.8–5.2	5	11(1)	9	11(1)	6	8	7	12(1)	11	90(3)
5.3–5.7	5(1)	8	4	4	3(1)	7	3	5(1)	4	43(3)
5.8–6.2	2	0	2	1	3(1)	0	2	1	4(3)	14(3)
6.3–6.7	1	1	1	2	1	0	2	1	1	10
6.8–7.2	1	0	1	0	0	0	0	0	2	4

в 1960 г

Для оценки периода предсигнальных наблюдений землетрясений различных магнитуд каталог анализировался по каждому из выделенных интервалов магнитуд на однородность во времени, для

четвёртый аналитический период наблюдений разбивается на интервалы, в течение которых выполняется квадратичный закон этих машин, будучи предполагаемым стационарным. Поясним сказанное на примере:



Таким образом, можно сказать, что введение в структуру макромолекулы дополнительных группировок, способных к образованию водородных связей, приводит к значительной уменьшению температуры плавления и температуры кипения полимера.

Максимум $3.3 \leq M \leq 3.7$. Данные по землетрясениям с магнитудами $3.3 \leq M \leq 3.7$ за тот же период с 1975 по 1992 гг. Их распределение за этот период после исключения афтершоков по 6-ти землетрясениям занесено в таблицу 2.5.

卷之三

M, Koda	1973-80	1981-86	1987-92	N _o
33 57	157	163	167	416

Если предположить, что в каждом из 6-ти летних интервалов, на которые разбит период наблюдений в 18 лет, сейсмический режим для этого района магнитуд уже стационарен, то следует считать биномиальным распределения числа событий по 6-ти летним интервалам со средним $N_p = N_s \times p \approx 129$ и дисперсией $D_p = N_s \times p \times (1-p) \approx 92$. В действительности отклонение от среднего не превышает 30 событий, то есть первое наблюдение в 18 лет обуславливает стационарность сейсмического режима, а каталог в этом диапазоне магнитуд является однородным.

Магнітуди $18.5 \leq M \leq 4.2$. Из таблицы 2 следует, что за период с 1960 по 1959 гг. было отмечено всего 79 событий, тогда как с 1960 по 1992 гг. их было зарегистрировано 208. Поэтому, очевидно, что с 1960 г. землетрясения с такими магнитудами — непредставительны. Стационарность и однородность каталога на 10-ти летних интервалах за период с 1960 по 1992 гг. проверились аналогичным образом за 10-лет $N_c \approx 93$, $D_p \approx 65$ при максимуме отклонений от среднего — 29 событий.

Исходя из аналогичных соображений были проканализированы периоды представительности для старших минимумов ($20 \leq M \leq 62$). Для максимума $M \geq 53$ периоды представительности оценены с

меньшими степенями надежности. Данные о числе землетрясений (N) различных магнитуд и их перво-
дых представительности ($T_{\text{пр}}$) сведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6.

M	N	Годы	T _{пр} , лет	N
33-37	416	1925-1992	18	002129
38-42	308	1930-1992	33	012949
43-47	238	1930-1992	53	063314
48-52	87	1930-1992	103	000176
53-57	45	1930-1992	143	000188
58-62	16	1940-1992	193	000115
63-67	14	1950-1992	403	000000
68-72	6	1960-1992	803	000000

Здесь $N^* = N/T_{\text{пр}}/S$ — среднее число землетрясений в год на площади 1000 кв. км. Рассчет параметров регрессионного графика повторяемости магнитуд проводился методом линейной ортогоцентрической регрессии по программе ORTREGR в соответствии с законом повторяемости Лутенберга-Рихтера в форме

$$\lg N^* = a - b \cdot M$$

Были рассчитаны три варианта графика повторяемости в диапазонах магнитуд 3.5-7.0, 3.5-6.5 и 3.5-6.0. Результаты расчетов этих вариантов приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7.

M ₀	M ₀₀	a	b	Δa	Δb	K
35	7.0	2.09	4.905	0.442	0.019	0.9880
35	6.5	1.381	0.981	0.130	0.017	0.9912
35	6.0	1.376	0.979	0.136	0.024	0.9983

Здесь Δa , Δb и K — соответственно ошибка построения бротекстальной регрессии и коэффициент линейной корреляции. Видно, что изменения значения ошибок и очевидно наибольшее значение K соответствуют второму варианту, отвечающему наиболее полной и одновременно достаточно полной совокупности исходных данных. Этот вариант был принят в качестве регионального графика повторяемости. Отметим, что полученный нами магнитудный наклон графика повторяемости $b = 0.961$ практически совпадает с оценками В.И.Буна и Т.И.Новикова и весьма близок к оценкам И.В.Ананьина [53]; если воспользоваться общепринятым класс-магнитудным соотношением Г.Г.Раутиан

$$K = 1.8 \cdot M + 4,$$

где K — энергетический класс, то наклон графика повторяемости энергетических классов $y = b/1.8 = 0.545$. Согласно В.И.Буну и Т.И.Новикова получали для него Кавказа $y = 0.54$, а И.В.Ананьин — $y = 0.56$. Что касается средней геоморфической активности $A_{\text{ср}}$ (магнитудный аналог $A_{\text{ср}}$), то нами получено значение более низкое, чем значение $A_{\text{ср}} = 0.055$ ($0.037 - 0.083$), когда как В.И.Бун и Т.И.Новикова получили $A_{\text{ср}} \approx 0.14$, а И.В.Ананьин — $A_{\text{ср}} \approx 0.1$. Столь сильное расхождение можно объяснить тем, что нами в рассмотрение были включены практически все сейсмические районы, лежащие к северу от 45° N.

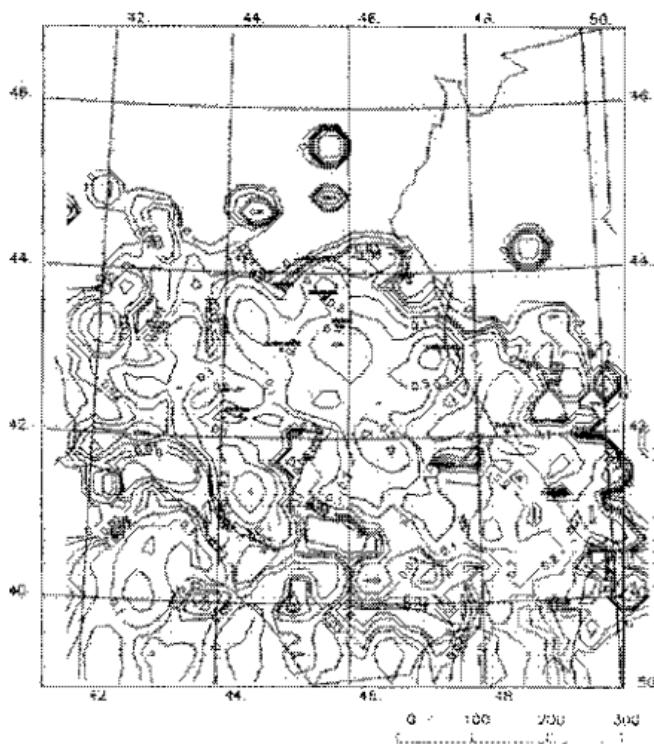


Рис. 2.2. Схема сейсмической активности А1 Центрального и Восточного Кавказа (матрица). Статистической зоны, соответствующей территории МИС, диагональной обозначено обозначено, что это не зона.

На рис. 2.2 представлена схема сейсмической активности А₁ региона, построенная методом взаимной детальности по данным Уточненного каталога землетрясений Центрального и Восточного Кавказа, исключающего 1139 представительных землетрясений в диапазоне магнитуд 3.5–7.0 (см. таб. 5.6). Матрица схемы была получена с использованием программы SEISACT1: площадь ячеек 1000 км², перекрытие – 0.5. Изомагнитные схемы имеют смысл среднего числа землетрясений магнитуды $M \geq 3.3$ на площади 1 тыс. км² за один год.

В заключение этого раздела рассмотрим распределение гипоцентров сильных и умеренно сильных ($M \geq 4.3$) землетрясений по глубинам. Данные о глубинах гипоцентров взяты из Уточненного каталога землетрясений Центрального и Восточного Кавказа, причем помимо наземных землетрясений были включены в рассмотрение также афтершоки. Это распределение дано в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Распределение числа гипоцентров (N_g) по глубинам

$M, H, \text{км}$	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25	26–30	31–35	36–40	>40	N_g
43–47	39	79	77	59	59	14	31	3	0	530
48–52	13	23	24	33	49	12	42	1	—	137
53–57	5	16	47	13	4	5	8	5	—	73
58–62	2	3	10	4	2	2	3	2	—	20
63–72	3	—	6	4	1	3	3	2	—	25
N_g	53	121	129	113	65	36	58	16	1	933

2.3. Сейсмический режим территории УИС

Напомним, что в этом случае изучение сейсмического режима проводилось по территории, имеющей 350-400 км в широтнике (41.5° - 45.0° N, 43.0° - 48.0° E) с центром — г. Грохий (43.3° N, 45.6° E); ее площадь составила $S \sim 157.54$ тыс. км. Анализ Сводного каталога землетрясений Северо-Восточного Кавказа показал, что здесь представительными являются уже землетрясения с магнитудами 2.6-3.2. Данные о числе землетрясений различных магнитуд и их периодах представительности приводятся в таблице 2.9.

Таблица 2.9

M	N	Годы	T, лет	N*
<2.3	499	1973-1992	—	—
2.8-3.2	793	1973-1992	18	284/24
3.3-3.7	247	1973-1992	18	587/10
3.8-4.2	136	1950-1992	33	0261/5
4.3-4.7	94	1900-1992	93	0003/18
4.8-5.2	32	1800-1992	163	0018/2
5.3-5.7	14	1650-1992	142	020/23
5.8-6.2	7	1800-1992	393	0002/30
6.3-6.7	4	1500-1992	493	0000/52
6.8-7.2	1	—	—	—

Здесь N^* — как и прежде, среднее число землетрясений в год на площади 1 тыс. км². График повторяемости строился методом ортогональной регрессии непосредственно по табл. 5.9 и методом суммирования; оба варианта дали практически идентичные значения наклона графика повторяемости. Вследствие достаточно статистики землетрясений различных магнитуд, поскольку диапазон магнитуд 6.8-7.2 является непредставительным, при построении графика повторяемости он не учитывался. В итоге был получен закон повторяемости в виде:

$$\lg N^* = 2.547 \pm 0.009 - (1.94 \pm 0.01) M \quad (2.1)$$

при коэффициенте линейной корреляции $R_c = 0.9995$. Средняя сейсмическая активность $A_c = 0.13$, что очень хорошо согласуется с результатами Н.И.Буна и Т.П.Ноляковой и весьма близко к результату И.В.Алапынина [53]. На этот раз близость результатов легко объяснить тем, что из рассмотрения были исключены асбетичные районы к северу от 45° N. В то же время заметна широкая вакансия графика повторяемости в терминах эндреевских классов $U = b/1.8 \approx 0.58$, т.е. несколько выше, чем у И.В.Алапынина или для центральной части Герко-Дагестанского прогиба (от Нальчика до Махачкалы), где было определено $U \sim 0.55$ [53]. Впрочем, расхождения — не слишком велики и лежат в пределах ошибок определения. Вообще же можно подметить тенденцию увеличения наклона графика повторяемости с уменьшением величины магнитуды представительной магнитуды (при условии, конечно, что она действительно — представительна).

Для детального знания повторяемости землетрясений различных магнитуд строится схема сейсмической активности A_c (рис. 2.3), являющейся аналогом сейсмической активности A_c . При этом сейсмическая активность определялась по формуле [51]:

$$A_c \approx \frac{1}{10^{10}} \frac{S_0}{10^{10} \text{ км}^2} \frac{S}{S_0} \frac{1}{T} \cdot N \quad (2.2)$$

где b — наклон графика повторяемости (в данном случае $b = 1.031$); $M_{\min} \approx 3.0$ — наименьшая представительная магнитуда (уровень представительности) $M_c \approx 3.33$ — магнитуда землетрясений, которой (согласно) соответствует рассчитываемая активность M_c ; S — площадь поверхности северинии; T — период представительных наблюдений землетрясений; $S_0 = 1000$ км²; N — единица времени (1 год); N_c — среднее число землетрясений различных магнитуд $M \geq M_{\min}$, наблюденных за время T на площади S . Сопоставляя рисунки 2.2 и 2.3, легко убедиться, что второй является ближайшей копией выделенного срезом линий фрагмента первого, что свидетельствует об устойчивости схемы сейсмической ак-

тивности Северо-Восточного Кавказа в изменению низшей представительной магнитуды (с 3.5 на 3.0), наклона графика повторяемости (с 0.981 на 1.041) и старшей представительной магнитуды (с 7.0 на 6.5). Также видно, что вся территория Чеченской Республики расположена в зоне высокой и умеренно высокой сейсмической активности: $0.2 < A_{50} < 1$. Для Грозного $A_{50} \approx 0.5$.

Перейдем к рассмотрению пространственного распределения гипоцентров землетрясений. На рисунках 2.4–2.6 представлены схемы эпицентров слабых ($M \geq 4.3$) землетрясений на различных глубинах. Наиболее ярко три интервала глубин распределения гипоцентров: верхнекоровый ($h \leq 10$ км) — рис. 2.4, среднекоровый ($11 \text{ км} \leq h \leq 25 \text{ км}$) — рис. 2.5 и нижнекоровый-верхнекомпактный ($h \geq 25 \text{ км}$) — рис. 2.6. Схемы эпицентров слабых ($2.8 \leq M \leq 4.2$) землетрясений в этих интервалах глубин приведены на рисунках 2.7, 2.8. На этих схемах помимо независимых событий представлены также и афтершоки.

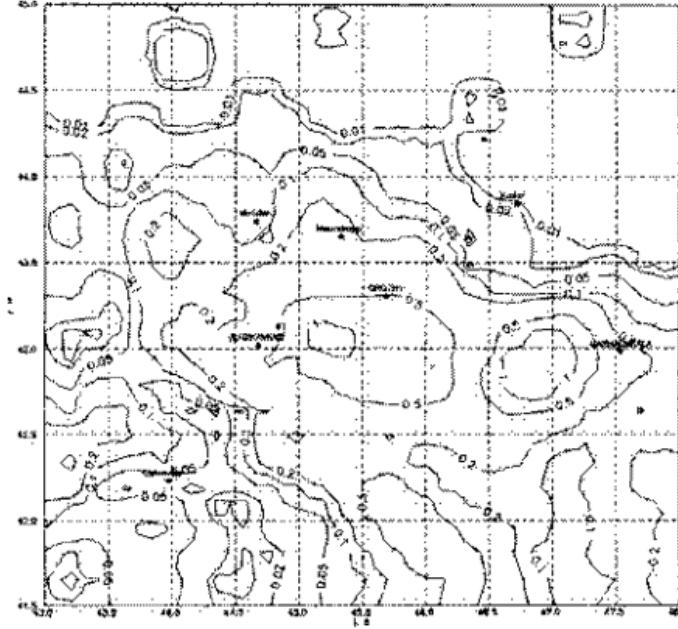
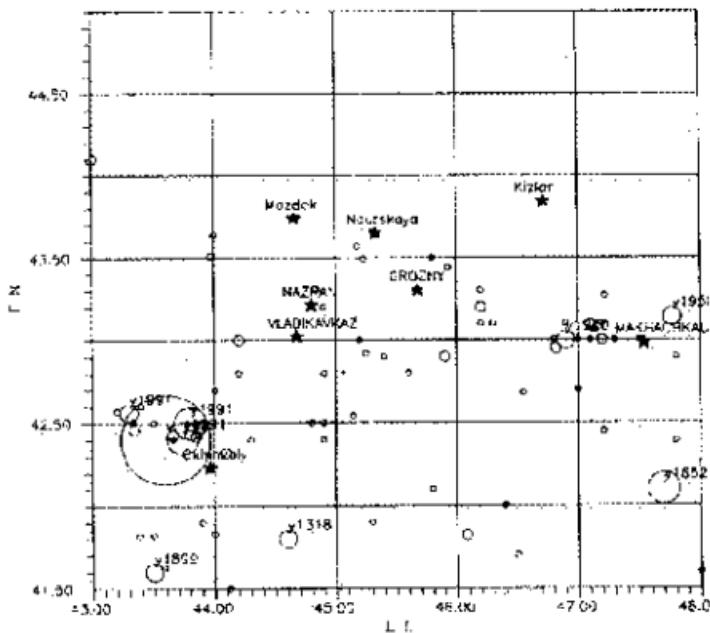
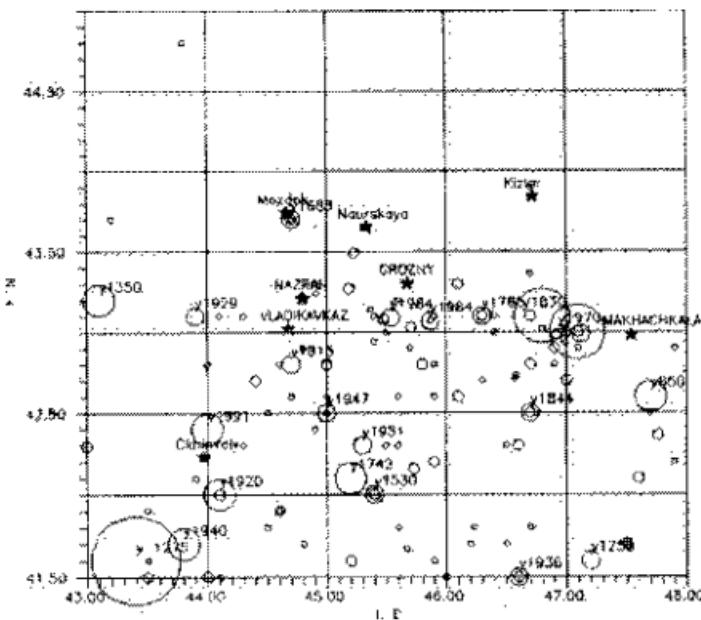


Рис. 2.4. Схема сейсмической активности Азово-территории УИС на глубинах 0–10 км (контурные линии, изолинии, изогипсы).



Фиг. 2.4. Схема линейного спутникового (М-4 & 7) радиолокационного террористического УВС с глубинами залегания $H \leq 10$ м. Параметры макета: $M = 1.3-1.6$; $M = 4-5.2$; $M = 5.3-5.7$; $M = 6.2-6.8$. М-6.8-7.2 способствует круговым сканированием только в верхней полусфере (показано на рисунке 2.1).



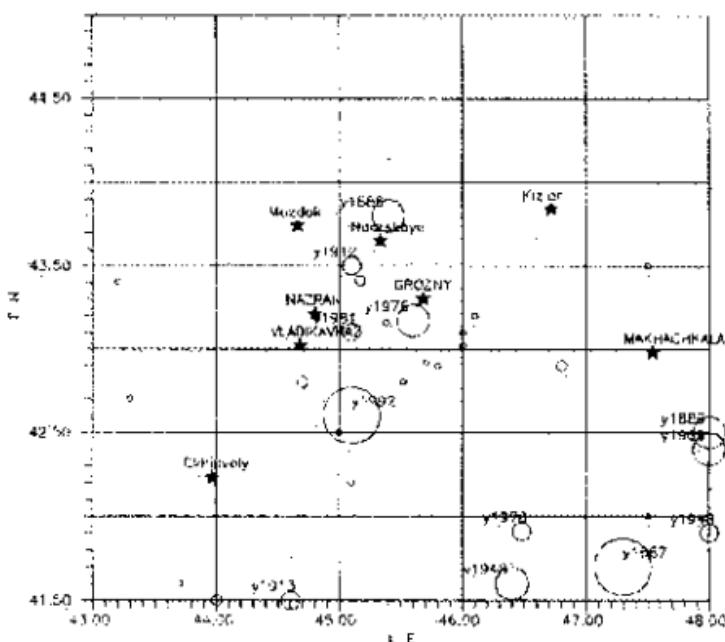


Рис. 26. Схема изостратической (М > 4.0) землетрясений территории УНС с глубинами очагов 0-25 км. Цифровые значения: М=43.4; М=8.5; М=5.3; М=5.8; М=6.2; М=6.5-8.7 (см. краткую группу подземных явлений землетрясений в таблице 2, изображение в фиг. 2.1).

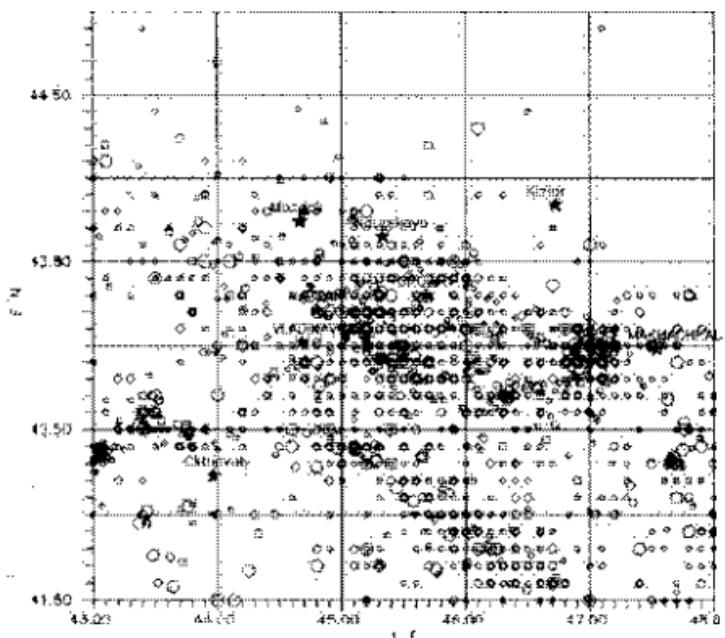


Рис. 27. Схема изостратической (М > 4.0) землетрясений территории УНС с глубинами очагов 0-25 км. Дифференцированное изображение очагов (см. краткое описание в таблице 2, изображение в фиг. 2.1).

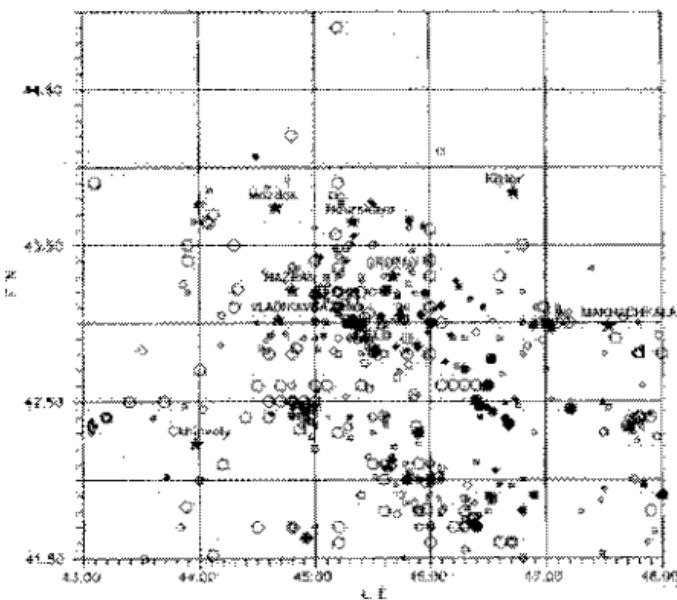


Рис. 2.8. Схема землетрясений слабых ($M < 2.5$) землетрясений с глубинами от 0 до 25 км (закрашенные кружки) и от 25 до 50 км (закрашенные квадраты).

Из рисунков 2.7, 2.8 видно, что основная масса слабых землетрясений относится к верхнекоровым. Отметим, что к последним были отнесены и землетрясения с неопределенными глубинами сдвигов, так как, как правило, они являются поглубокими [29]. Так, из показанных на схемах 2697 слабых землетрясений 2205 относятся к верхнекоровым, 420 — к среднекоровым и только 72 — к поглубоковым-верхнекоровым. В целом, на обеих схемах наблюдаются три почти параллельные полосы суперсия землетрясений слабых землетрясений приблизительно кавказского простирания, самая южная из которых проходит через г. Грозный. Отметим, что эти полосы прослеживаются для гипоцентров во всех трех интервалах глубин.

Поэтому выглядит распределение гипоцентров по глубинам для сильных землетрясений. Общее представление о распределении числа землетрясений различных магнитуд по глубинам дает таблица 2.10.

Таблица 2.10.

Распределение числа гипоцентров (N_g) по глубинам

H, км M	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	N_g
43-47	16	38	32	24	13	4	5	1	1	137
48-52	6	8	11	31	8	3	1	—	—	51
53-58	21	3	4	5	1	1	3	1	—	32
59-62	1	2	3	2	1	1	3	—	—	14
63-69	1	—	1	2	2	2	—	—	—	6
N	26	51	52	47	24	11	16	2	2	230

Теперь верхнекоровые землетрясения составляют всего 1/3 от общего числа, причем для наиболее сильных ($M \geq 5.8$) землетрясений их доля оказывается еще меньшей — всего 1/5. В целом, преобладают среднекоровые землетрясения; они составляют более половины всех землетрясений. Однако, для землетрясений с $M \geq 5.8$ число верхнекоровых-верхнекоренных и среди поглубоковых землетрясений уже почти одинаково: соответственно 7 и 9. Анализ карт гипоцентров

(рис. 3.4-3.6) показывает, что места локализации верхнекоровых, среднекоровых и нижнекоровых-верхнеконтинентальных наиболее сильных ($M \geq 5.8$) землетрясений, как правило, расположены в территориальном. Так, в радиусе приблизительно 80 км от Грозного лет ни одного землетрясения в этом диапазоне магнитуд с глубиной очага менее 25 км. Эти очаги приурочены к нижней части земной коры, толщина которой по геофизическим данным составляет здесь 40-50 км, или к краю верхней мантии.

Наличие исключительно выраженных уровней сейсмичности на глубине делает целесообразной попытку отдельного рассмотрения из них сейсмического режима. В таблицах 2.11-2.13 представлены данные (после исключения ров и афтершоков) о числе землетрясений различных магнитуд на верхнекоровом ($h \leq 10$ км), среднекоровом ($11 \text{ км} \leq h \leq 25$ км) и нижнекорово-верхнеконтинентальном ($h > 25$ км) уровнях сейсмичности при сохранении принципов ранее периодов представительности.

Таблица 2.11

Распределение землетрясений по магнитудам на глубинах $h \leq 10$ км

M	N	Годы	T _{ср-лет}	N*	N ₁ *
28-32	635	1975-1992	18	0.23020	
33-37	162	1975-1992	18	0.07128	
38-42	34	1980-1992	33	0.04234	
43-47	32	1980-1992	93	0.002184	
48-52	7	1980-1992	103	0.000431	
53-57	2	1980-1992	143	0.000050	
58-62	0	1980-1992	193	-	
63-67	0	1985-1992	493	-	

Таблица 2.12

Распределение землетрясений по магнитудам на глубинах $11 \text{ км} \leq h \leq 25$ км

M	N	Годы	T _{ср-лет}	N*	N ₁ *
28-32	27	1975-1992	18	0.046198	0.08407
33-37	14	1975-1992	18	0.025038	0.04211
38-42	9	1980-1992	33	0.016195	0.015173
43-47	15	1980-1992	93	0.001276	0.004975
48-52	4	1980-1992	103	0.001284	0.01792
53-57	5	1980-1992	143	0.000311	0.004408
58-62	5	1980-1992	193	0.000069	0.00097
63-67	2	1985-1992	493	0.000026	0.00025

Таблица 2.13

Распределение землетрясений по магнитудам на глубинах $h > 25$ км

M	N	Годы	T _{ср-лет}	N*	N ₁ *
28-32	27	1975-1992	18	0.000591	0.017893
33-37	14	1975-1992	18	0.000467	0.008372
38-42	9	1980-1992	33	0.001731	0.003435
43-47	15	1980-1992	93	0.000924	0.002704
48-52	4	1980-1992	103	0.000267	0.000680
53-57	5	1980-1992	143	0.000222	0.000533
58-62	5	1980-1992	193	0.000164	0.000411
63-67	2	1985-1992	493	0.000025	0.00006

В связи с недостаточной статистикой землетрясений различных магнитуд в среднекоровом и нижнекорово-верхнеконтинентальном интервалах глубин трафикон повторяемости для этих интервалов строились методом суммирования. Значения наклонов графиков повторяемости для различных интервалов глубин приведены в таблице 2.14.

Наклоны графиков повторяемости в различных интервалах глубин

$h, \text{км}$	0–10	10–25	>25
b	1.385±0.034	0.973±0.045	0.749±0.055
R_s	0.9988	0.9938	0.9842

В соответствии с современными представлениями наклон графика повторяемости характеризует степень раздробленности среды, поэтому параметр b называют также «дробностью» [9]. Из таблицы 2.14 видно, что дробность b быстро уменьшается с глубиной: от чрезвычайно высокого значения $b = 1.384$ в верхнем 10-ти километровом слое до достаточно низкого $b = 0.749$ на глубинах выше 25 км. Этот факт отражает уменьшение степени раздробленности и соответственно возрастание прочности среды с глубиной. Высокие значения дробности b в приповерхностном 10-ти километровом слое земной коры подтверждают, что за редкими исключениями, связанными с локальными особенностями глубинного строения, он не в состоянии накапливать напряжения, достаточные для возникновения сильных ($M \geq 5.8$) землетрясений.

Наиболее наглядно интегральное распределение верхнекоровой, среднекоровой и нижнекоровой-верхнемантийной сейсмичности представляют схемы сейсмической активности, построенные раздельно для этих интервалов глубин. Такие схемы представлены на рисунках 2.9–2.11. Обращает на себя внимание область повышенной сейсмической активности на глубинах выше 25 км, вытянутая с юга-юго-востока на северо-запад и захватывающая практически всю территорию Чеченской Республики. Характерно, что практически вся нижнекоровая-верхнемантийная сейсмичность сосредоточена в этой области. Весьма высокой для территории Чечни является и среднекоровая сейсмическая активность.

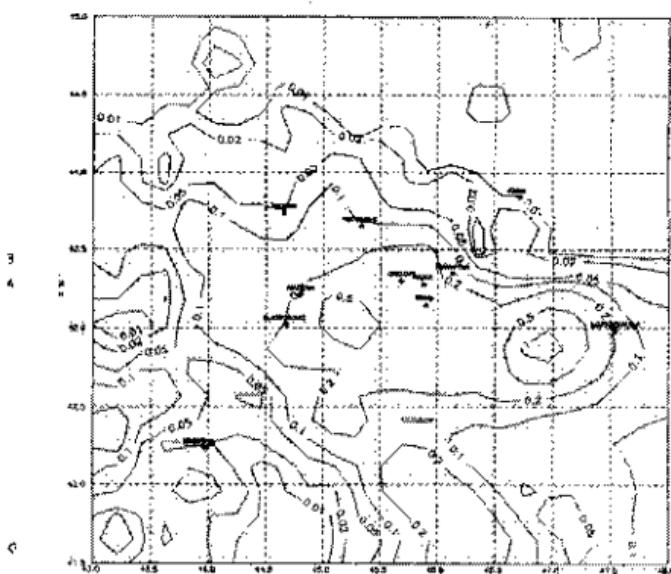


Рис. 2.9. Схема сейсмической активности на территории УИС и изолинии для землетрясений с глубинами меньше 10 км

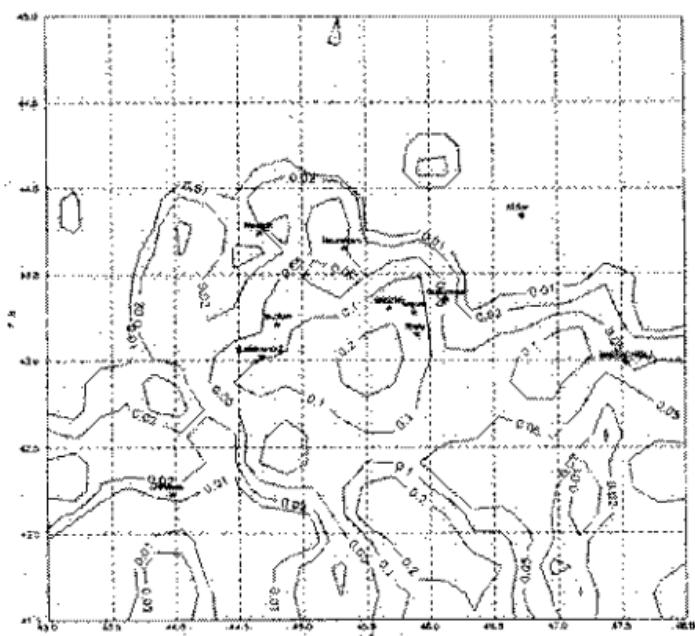


Рис. 2.10. Схема структурно-зональной зонтичности Азиатского континента. УНС Южно-Китайской зоны землетрясений с глубинами землетрясений 11 км и 25 км

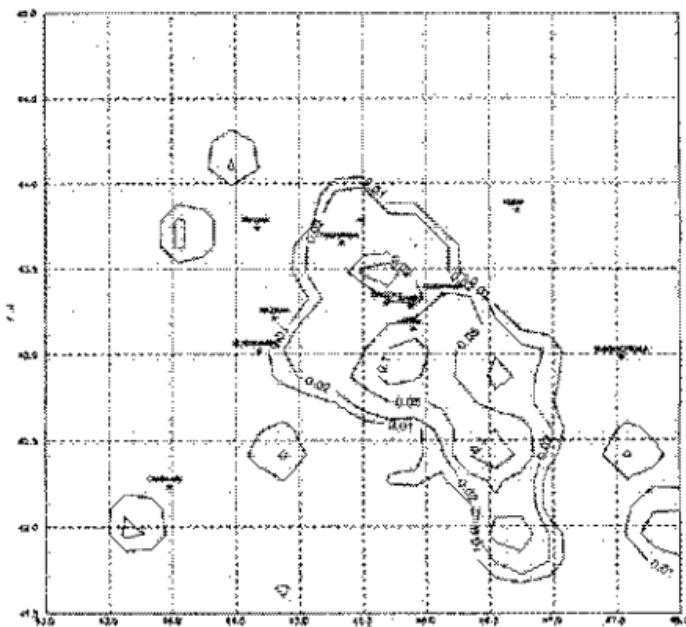


Рис. 2.11. Система селективной автоматики АИС (разработаны УИС в посёлке Южный при участии инженеров из Сибири и Севера). $n > 25$ км

Для более точной оценки сейсмической сотрясаемости, а также количественных параметров сейсмических воздействий важно знать распределение гипоцентров землетрясений по глубине в непосредственной близости (радиусе 60–80 км) от г. Грозного. Это распределение приведено в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Распределение сильных землетрясений в районе г. Грозного с 1785 по 1992 гг. по магнитудам и глубинам

M, M, км	4.3–4.7	4.8–5.2	5.3–5.7	5.8–6.2
<3	—	5	—	—
3–5	4	—	—	—
6–10	6	2	—	—
11–15	5	2	—	—
16–20	5	4	1	—
21–25	2	2	1	—
26–30	1	—	1	1
31–35	1	1	—	1
36–40	3	—	—	—
>40	2	—	1	—
N	20	41	4	2

Из таблицы видно, что на глубинах меньше 5 км наблюдается лишь относительно небольшое число землетрясений с магнитудами $M \leq 4.7$. Более сильные землетрясения возникают на глубинах от 10 и более километров, что обосновывается и глубинами залегания в этом районе поверхности кристаллического фундамента, которые составляют здесь не менее 7–8 км. Освидетельствующие вымывшие породы осадочного чехла вследствие срываются и небольшой прочности в состоянии паковать напряжения, необходимые для возникновения землетрясений более высоких магнитуд.

2.4. Наблюденные максимальные матрицы землетрясений

Рассмотрим распределение максимальных наблюденных матрицуд землетрясений в пределах территории УФС. Такое распределение было получено с помощью фурье-анализированного анализа Статистического катаログа землетрясений Чеченской Республики и сопредельных территорий, реализованного программой ММАХ. По этой программе максимальное наблюдение матрицыуд землетрясений рассчитывалось в ячейках координатной сетки размером $0.284^\circ \text{N} \times 0.390^\circ \text{E}$ так, что площадь ячейки составляла 1100 км². Матрица M_{max} приведена в таблице 2.16.

Таблица 2.16

Матрица наблюдаемой M_{max} Северо-Восточного Кавказа

УФС	43.2	43.6	44.0	44.4	44.8	45.2	45.6	45.9	46.3	46.7	47.1	47.5
41.7	0	5.4	6.0	0	5.6	5.2	4.5	4.7	6.1	5.3	3.5	6.5
41.9	4.7	1.3	0.2	4.6	4.9	0	4.4	4.9	5.3	3.8	0.3	4.0
42.2	4.8	0	0	4.5	4.9	5.3	5.1	5.1	4.4	4.9	3.1	3.8
42.5	4.2	6.9	3.3	4.3	4.6	6.3	4.7	4.5	4.0	4.9	4.3	3.0
43.6	4.7	3.8	4.5	4.8	3.4	4.8	4.7	5.2	4.4	4.9	4.6	3.8
43.1	0	0	3.0	3.8	4.4	4.7	6.2	4.7	4.4	0.3	0.0	3.5
42.4	4.6	0	4.1	3.9	4.4	5.1	5.4	5.0	4.4	4.7	3.4	3.2
43.6	2.9	3.6	4.4	4.1	3.3	5.7	3.9	4.0	0	2.9	3.0	4.5
43.9	4.0	0	2.9	2.9	3.3	5.9	6.0	2.8	2.8	0	0	0
44.2	4.7	2.8	2.8	2.9	3.0	2.8	5.3	3.1	0	0	0	0
44.5	0	0	0	0	2.8	0	0	0	2.8	0	0	0
44.8	0	0	4.5	0	0	4.0	0	0	0	2.8	0	0

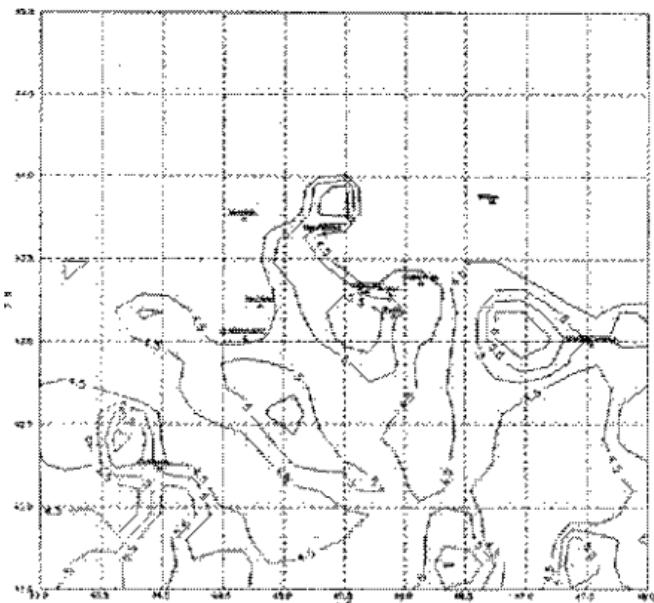


Рис. 2.12. Структурная схема ячейки памяти и ее обработка MAC в квантизаторе

Распространение этой матрицы в схеме изолиний $M_{\text{вн}}^{(1)}$ показано на рисунке 2.12. Отметим, что при проведении изолиний на сетке SIEK-E-R учитывалось значение $M_{\text{вн}}^{(1)}$ в ближайших точках, а сама матрица $M_{\text{вн}}^{(1)}$ весьма низодисперсна, имея значение $M_{\text{вн}}^{(1)} \approx 1$, на изолинии двух сопоставляются, причем различие может достигать 0.5–0.7 единиц магнитуды. В то же время схема $M_{\text{вн}}^{(1)}$ в изолиниях изображает тем матрицей обозначает области распространения близких $M_{\text{вн}}^{(1)}$. Согласно схеме $M_{\text{вн}}^{(1)}$ терригены I. Грунты относятся к зоне с $M_{\text{вн}}^{(1)} \approx 5.5$ и при учетом суперпозиции выше-зонация это значение может быть увеличено до 6.0. По схеме также отчетливо прослеживаются отсутствие связи между сейсмоконтактными зонами и рабицами I. Грунты и сильных. На схеме изолиний землетрясений 1930 и 1970 гг. близкогрунтовая изолиния $M_{\text{вн}}^{(1)} = 6.0$ с центром 4° E N 47° E. Эти зоны разделены областью волнистойной $M_{\text{вн}}^{(1)} \approx 4.5$. Отсутствие взаимосвязи между этими зонами подтверждается и различными ступенями залитания сейсмоконтактного состояния сильных ($M \geq 5.8$) землетрясений.

Отметим, что согласно схеме прогнозной $M_{\text{ш}}$ Кавказа Г.И.Рейнера и др., построенной с использованием процедуры кластерного анализа [68] в Грозном расположены все три зоны с прогнозной $M_{\text{ш}} = 6.0$ с никакими значимыми прогнозами Мирзабильного города 6.2–6.3. Матрица прогнозной $M_{\text{ш}}$ Г.И.Рейнера и др. испытала сдвиг при расчете гейзимитской супрекремации в Грозном и ряд других наименований пунктов Чеченской Республики.

3. СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ

На традиционном подходе к выделению зон (Ю. Г. Гончаров) основу поясов составляют тектонические структуры, преизутистично разрывной природы, которые способны генерировать сильные землетрясения... субстромагнитные структуры [33, 6]. Именем зон происходит в этажение тектонической

¹ Dabirupi H, Dabirupi A, Dabirupi Raja M, et al. A prospective study of the incidence of breast cancer in a rural population of India. Indian J Cancer 1994; 31: 103-106.

Главное задание и характеристика для Науки о природных дроблениях структур. Це якість єдиною специфікою наукометрических зважень в різних частин розглядуваної території. Складання свідчить про позитивну обсягову відповідність висловленням різних наукометрических областей.

3.2. Отражение сейсмогенерирующих структур в глубинном строении по геофизическим данным

Територия УИС, принадлежащая двум главным тектоническим элементам Кавказского региона: Гергеко-Каспийской прогиб – на севере и северо-востоке, мегантиклинорию Водного Кавказа – поясу Альпийских межгорных прогибов – на юге может считаться довольно хорошо изученной [36]. При анализе стабильного строения по геофизическим данным в связи с геоморфостью испытываемые следующие ошибки:

- рельефа поверхности консолидированного фундамента [55];
 - рельефа поверхности Могородичин [39];
 - глубинных аномалий синтеза тяжести [17];
 - полигаттических аномалий синтеза тяжести [19];
 - аномалий синтеза тяжести в реекции Бюе [23];
 - теплового потока [29];
 - аномалий магнитного поля [28].

Помимо линейных карт в ряде случаев используются карты градиентов таких параметров, как

- горизонтальный градиент глубины поверхности консолидированного фундамента;
 - горизонтального среднего глубинных аномалий снизу тяжести¹;
 - горизонтального градиента аномалий силы тяжести в результате блоков.

Начиная с градиентов, перечисленных выше, параметров строились различные способы с использованием градиентных средних линейной системы СБО по цепочкам картам соответствующих таблиц 25-28.

Важнейшим значением с точки зрения приложения мест вспомогательных сценарных действий

- глубина подошвы ноги (коэффициент дифференциации и ее обратное значение глубина ноги);
 - глубина прокладки Мехоровинического;
 - горизонтальное распределение значений силы тяжести и частота гравитационных гусениц.
 - значение коэффициента теплового потока в его зависимости от времени.

Схема будованих структур по верхніму і нижніму «стаканам» створюється відрізняється висотою гравітаційних зон по інтервалам шанці параметром. Ця приведена на рисунку 3.1. В поєднанні з просторістю розподіленням об'ємів-містот і геоділіческими матеріалами она створює геоділіческій основі для постукання. Схема складається з відповідних структур.

Изменение в 1995 г. в результате реформы бюджетной политики включало введение бюджетного правила о ограничении расходов на социальную политику в 1996 г. в размере 10% от валового национального продукта.

1000 человек и разрушено несколько десятков тысяч жилых строений. Сейсмический эффект в районе г. Грозного составил 4-5 баллов. Землетрясение сопровождалось тремя системами афтершоками (29.04.1991 г. с магнитудой 6.2 и инструментальной глубиной очага — 5 км, который произошел приблизительно через 3 часа после основного толчка; 29.04.1991 г. с магнитудой 6.1, инструментальной глубиной очага — 5 км, который произошел приблизительно через 4 часа после основного толчка; и 15.06.1991 г. с $M = 6.2$ и $h = 11$ км). В периоб с 29 апреля по 31 декабря 1991 г. было определено положение очагов для 838 афтершоков Рачинского землетрясения. Основная часть афтершоков образует линию, простирающуюся в направлении от Амбралурия на северо-запад до Джана на юго-востоке, протяженностью около 80 км. Ширина зоны — от 30–12 км в юго-восточной части до 17–20 км — в северо-западной. Для большинства афтершоков глубина очагов не превосходит 10 км [20].

В табл. 8.1 приведены максимальные для каждой зоны или узла избыточные магнитуды землетрясений.

4. МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, ОСНОВНЫЕ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ СОТРЫСАЕМОСТЬ

4.1. Параметры уравнения макросейсмического поля

Рассматриваемая территория характеризуется наиболее высокой для Северного Кавказа сейсмичностью. В ходе подготовки работы были проанализированы практически все имеющиеся для этого района макросейсмические данные, на основании которых была построена схема изошок (рис. 4.1) [2, 4, 5, 11–14, 27, 32, 34, 44, 46, 56, 57]. Стрелками на схеме показаны простирающиеся размеры очагов землетрясений, причем простирающиеся определяются по ориентации больших осей старших изошок, а линейные размеры по макросейсмическим данным [60] или по стеклянным гидролитическим и волнородным волн этих землетрясений в соответствии с имеющимися афтершоками макросейсмичности [3] (см. также раздел 4.3).

Рассмотрим геометрические параметры уравнения макросейсмического поля (УМС). Для Северного Кавказа характер изменения макросейсмического поля в зависимости от магнитуды землетрясения и взаимного расположения достаточно хорошо описывает уравнение Н.В.Некрасова [60]

$$I = a M - v \lg R + c, \quad (4.1)$$

где R — гипотектическое расстояние, I — сейсмическая балльность, а параметры $a = 1.5$, $v = 3.5$, $c = 3.0$. Но имеющимся в нашем распоряжении данным (схемы изошок 26 землетрясений территории УИС) было сделано уточнение параметров УМС для Чеченской Республики и сопредельных территорий. Параметры УМС уточнялись, раздельно для больших и малых подошв изошок (большие оси изошок вытянуты, как правило, вдоль тектонических структур, а малые — вкось), причем спагетти оценивался параметр затухания v , а затем по известному затуханию и балльности — коэффициент при магнитуде a и свободный член c . Параметр затухания оценивался методом прямой линейной регрессии между величинами

$$\Delta I = I_k - I_{k-1} = \frac{M}{\sqrt{\Delta_{k-1}^2 + H_k^2 / (\Delta_k^2 + H_k^2)}},$$

здесь I_k , I_{k-1} — балльность k -ой и $k-1$ -ой изошок, Δ_k , Δ_{k-1} — размеры их больших (или малых) подошв, H_k — глубина очага k -го землетрясения, H_{k-1} — глубина очага $k-1$ -го землетрясения.

В таблице 4.1 приведены фактические данные о размерах больших и малых подошв изошок 26 землетрясениям территории УИС, по которым уточнились параметры УМС (рис. 4.1).

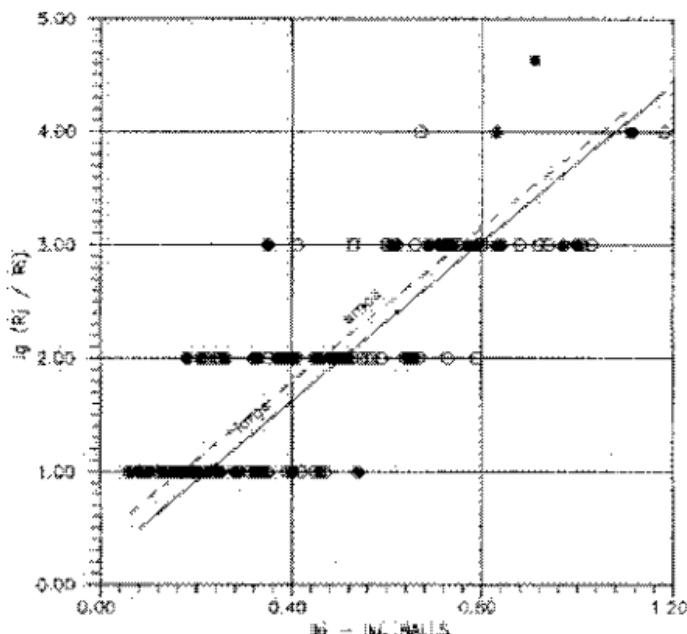


Рис. 4.2. Гравитационные спектры для гидроакустических измерений [1]. Для измерений от гидроакустической разностной гидроакустической гравиметрии (GAGR). Красные кружки означают линии с линейной "затуханием". Голубые кружки означают С-линии с линейной затуханием и с гравиметрическими ортогональными, регрессионными линиями для больших и малых полусосей

Видно, что в целом наблюдается очень хорошее согласие между измеренными нормальными затуханиями и затуханием в уравнении П.В.Шеба или сги Болынга-Канкака, хотя несколько неожиданным является то, что затухания, определенные по большим и малым полусосям совпадают в пределах ошибок, а также то, что затухание линий больших осей излучает окажется несколько большим, чем у малых.

Уравнения линейной ортогональной регрессии для больших и малых полусосей приведены на рис. 4.2. В результате были получены следующие значения затухания:

по большим полусосям — $v = 3.514 \pm 0.291$, $R_c = 0.8234$

по малым полусосям — $v = 3.410 \pm 0.233$, $R_c = 0.8666$

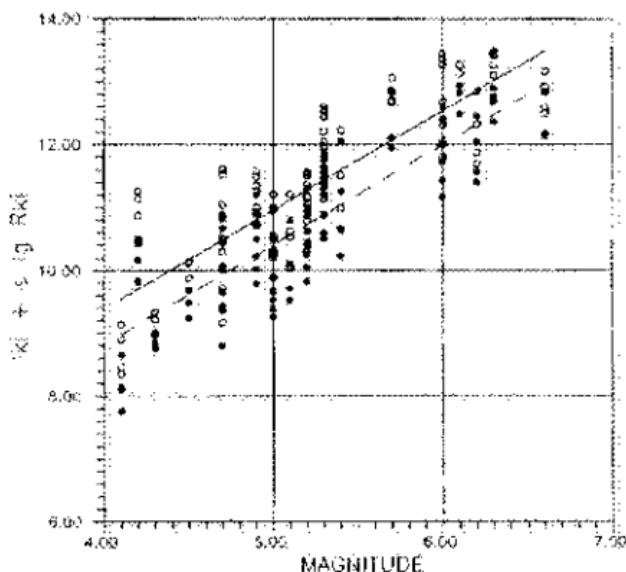


Рис. 4.3. Зависимость параметра $b = \lg R_0 / (R + R_0)$ от магнитуды M землетрясения за большими (среди которых и включены сильные землетрясения), землетрясениями средней силы и малыми землетрясениями. Пунктирные линии и линия единичной корреляции для большей и малой полуосей именуются

Коэффициент при магнитуде и свободный член УМШ определялись методом наименьших квадратов (рис. 4.3) причем линейная регрессия строилась между выражением

$$L \cdot v \cdot \lg \left(\frac{R_0}{R_0 + R} \right) \quad \text{и магнитудами } M_k$$

где k и L - соответственно номера землетрясений в изосейт. Метод наименьших квадратов использовался в данном случае потому, что магнитуды землетрясений определяются существенно более точно, чем балльности и радиусы изосейт. В итоге были получены следующие значения:

	a	b	R_c
по большим полуосям	1.577 ± 0.104	3.079 ± 0.553	0.8367
по малым полуосям	1.593 ± 0.098	2.444 ± 0.521	0.8534

Здесь также наблюдается хорошее согласие с параметрами уравнения Н.В. Небанника, хотя по малым полуосям было получено более низкое значение свободного члена. Однако, в прорастах ошибок и в этом случае результаты близки.

Поэтому, так как значений различий между распространением сейсмической интенсивности вдоль и вкрест тектонических структур в региональном плане не выявлено, а наши параметры УМШ совпадают в пределах ошибок с таковыми в уравнении (4.1), в дальнейшем для расчета сопротивляемости использовалось это традиционное уравнение.

Размеры больших и малых полусосей изоксейт землетрясений территории УИС

Дата	TоN	TоE	h, км	M	Большие и малые полусоси изоксейт балловости 4-9, км					
					9	8	7	6	5	4
3.24.1886	43.10	46.30	13	63	7.5	34.14	67.45	129.95	224.181	—
16.10.1886	43.80	45.40	35	63	—	—	—	—	96.54	241.220
19.09.1912	43.50	45.10	50	57	—	—	38.12	64.36	164.110	210.298
5.10.1926	42.80	45.60	16	43	—	—	10.7	36.24	75.50	—
16.02.1929	43.10	43.90	17	53	—	—	30.12	74.48	113.88	163.149
24.10.1931	42.90	45.90	19	52	—	—	17.11	37.27	56.14	102.78
7.05.1940	41.70	41.80	19	60	—	30.12	58.03	78.55	119.92	165.359
29.06.1945	41.60	46.40	48	61	—	—	37.28	115.58	200.150	—
31.03.1950	43.10	46.00	8	42	—	—	6.3	23.11	60.38	158.78
2.1.1951	42.20	45.30	20	53	—	—	29.15	70.39	131.80	185.145
1.03.1954	43.43	45.93	5	43	—	—	—	5.4	15.13	33.29
2.03.1956	43.03	45.71	16	49	—	—	10.6	29.19	73.53	115.93
17.06.1960	43.27	45.39	25	51	—	—	42.7	48.6	28.19	47.40
14.05.1970	43.00	47.00	13	66	8.3	32.10	33.30	75.64	—	—
26.03.1971	43.30	45.40	7	41	—	—	3.1	4.3	9.6	29.16
8.06.1972	43.02	46.40	11	45	—	—	—	10.5	27.18	46.33
4.23.1974	42.20	45.30	23	52	—	—	—	23.15	68.48	123.55
13.11.1975	42.08	46.55	7	47	—	—	7.3	18.10	45.22	52.37
23.12.1975	42.05	46.82	6	50	—	—	7.4	18.9	31.23	47.38
9.01.1977	43.00	47.12	4	52	—	—	15.3	27.17	44.30	62.51
28.07.1976	43.17	45.60	26	62	—	—	17.11	38.33	75.70	130.300
26.05.1978	41.95	46.45	55	53	—	—	—	47.15	98.06	141.109
23.02.1981	41.82	46.08	10	49	—	—	8.4	20.8	41.28	98.66
15.10.1981	43.26	45.38	30	54	—	—	7.4	22.18	41.35	73.60
4.04.1984	43.04	45.54	25	53	—	—	—	25.23	50.47	98.77
26.04.1984	43.07	45.87	15	47	—	—	—	8.5	16.13	26.21
4.07.1985	42.16	45.73	15	51	—	—	—	—	23.15	75.60
3.08.1989	43.40	45.23	13	50	—	—	9.6	20.12	49.32	72.58

4.2. Макросеймический эффект землетрясений на территории г. Грозного

Анализ имеющихся данных по сеймический эффекту землетрясений ощущавшихся в г. Грозном показал, что за всю историю своего существования в нем не было сотрясений интенсивностью выше 6-7 баллов. Что касается удаленных сплошных Кавказских и Азиатских землетрясений, то их сеймический эффект не превышал 5 баллов.

Распределение интенсивностей сотрясений, отмечавшихся в Грозном, по 23 землетрясению региона (см. раздел 3.3), имевший место в XIX-XX вв., представлено в таблице 4.2.

Очевидно, что таблица 4.2 предоставляет далеко не полные данные о наблюдаемом в городе сеймическом эффекте, хотя данные о 5-6-балльных сотрясениях представлены относительно полнее. Из таблицы, во всяком случае можно заключить, что 5-ти балльные сотрясения наблюдались в текущем столетии в среднем не реже, чем раз 15-16 лет, а 5-6 и 6 балльные сотрясения – не реже, чем раз в 40-50 лет. Ниже эти результаты будут сопоставлены с расчетными показателями сеймической сопрягаемости.

Таблица 4.2.

Распределение интенсивностей сотрясений, отмечавшихся в г. Грозном в XIX-XX вв.

Интервал	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	N ₁
N ₁	1	1	2	7	3	6	12	1	23

Интересно сравнивать, полученные нами оценки с картами фактически наблюдаемых сейсмий, составленных в масштабе 1:2500000 И.В.Ананьевым⁵ и А.А.Никоновым [42]. По данным И.В.Ананьина территории г. Грозного относятся к зоне с фактически наблюдаемой 6-ти балльной сейсмичностью, что в точности согласуется с нашими выводами. А.А.Никонов, обобщив данные о фактически наблюдаемой балльности за последние 300 лет, дает более высокую оценку: по его данным территория Грозного относится к зоне с фактически наблюдаемыми 7-и балльными сейсмиями. Очевидно, фактически наблюдаемая балльность может служить крайней нижней оценкой ожидаемого сейсмического эффекта.

4.3. Выделение основных зон ВОЗ

4.3.1. Общие принципы выделения зон ВОЗ

Основой для построения схемы зон ВОЗ послужила составленная ранее схема основных сейсмогенерирующих структур (рис. 3.2), в которой были суммированы геологические, геофизические и сейсмологические данные. Были выделены основные зоны ВОЗ с $M_{\text{шд}} \geq 5.5$. Остальная территория отнесена к областям с фоновой сейсмичностью $M_{\text{шд}} < 5.5$. Высокий уровень фоновой сейсмичности связан с практическим повсеместным достаточно впечатляющим уровнем сейсмической активности ($A_{\text{шд}} \geq 0.1$). При приятии той или иной зоны магнитуды $M_{\text{шд}}$ принимались во внимание: максимальная наблюдаемая в ней магнитуда, сходство в основных элементах ее внутреннего строения, величина сейсмической активности, величинные показатели параметров основных геофизических полей (см. раздел 3.2) с другими зонами, где наблюдалась землетрясения больших магнитуд.

Так, например, практически все гипоцентры сильных нижнекорово-верхненемангийских землетрясений приурочены к зонам с высокими значениями градиентов глубинных аномалий сирых тяжести [17]. Несколько хуже корреляция между местоположением гипоцентров таких землетрясений и высокими градиентами аномалий магнитного поля [28]. Для среднекоровых и притопограничных очагов эти два признака не являются информативными. В частности для притопограничных ($h \leq 10$ км) землетрясений называется корреляция между положением их эпицентров и повышенными значениями латеральных градиентов поверхности ковалидированного фундамента [55]. Для среднекоровых ($11 \text{ км} \leq h \leq 25 \text{ км}$) землетрясений более значимой представляется корреляция между положением их эпицентров и повышенными значениями латерального градиента теплового потока [23], приуроченными, по-видимому, к контактам относительно более «теплых» и более «холодных» блоков земной коры. В рамках настоящей работы все эти корреляции были выявлены лишь качественным образом.

Поэтому, при выделении зон ВОЗ учет всех этих факторов был также преимущественно качественным или экспериментальным. Максимальная наблюдаемая в зоне магнитуда рассматривалась в качестве крайней нижней оценки $M_{\text{шд}}$; пропозиция $M_{\text{шд}}$ в отдельных зонах проходила наблюдаемую на единицу магнитуды, а в других была близка к ней. При этом ошибки в определении магнитуды во внимание не принимались. Ширина выделяемых зон ВОЗ определялась с учетом оцениваемой им магнитуды $M_{\text{шд}}$ и составляла не менее половины линейной протяженности, соответствующего ей очага. Последнее замечание касается лишь линейных зон ВОЗ и не относится к узлам.

4.3.2. Характеристика основных зон ВОЗ

На рис. 4.3 представлена схема основных зон ВОЗ. Отметим, что в целом, она демонстрирует закономерное уменьшение сейсмического потенциала ($M_{\text{шд}}$) от осевой части Большого Кавказа на север. Зоны ВОЗ рассекают рассматриваемую территорию несимметричной сеткой, состоящей из полос приблизительно кавказского и антикавказского пространствия. Дадим краткое описание выделенных зон ВОЗ (табл. 4.3). В таблице даны разделенные оценки $M_{\text{шд}}$ для яркого и среднекорового ($h \leq 25$ км) и нижнекорово-верхненемангийской ($h > 25$ км) сейсмичности и оценки ожидаемого сейсмического эффекта (и баллов) от выделенных зон ВОЗ на территории г. Грозного.

1. *Малокавказская зона ВОЗ* разделяется на три части и включает посёлковую часть с запада на восток-юго-восток: Хасанюрский участок, Буйнакский узел ВОЗ и Махачка-

⁵ Асаньев И.В. Карта землетрясений, спровоцированных землетрясением 25.07.1992 г. (Справочник по землетрясениям).

линский участок. Согласно разделу 3.3 эта зона ассоциируется с развитием двух субпараллельных изгибающихся флексурино-разрывных приповерхностных зон, причем наиболее сильная сейсмичность приурочена к северной зоне. Разделение зоны на участки отражает их различный сейсмический потенциал (M_{max}).

- 1a. **Хасавюртский участок** характеризуется умеренно высокой сейсмичностью $M_{max} = 5.5$ (1785 г.), наиболее сильные землетрясения приурочены к верхней части кристаллического фундамента (12–18 км). Прогнозная $M_{max} = 6.0$.
- 1b. **Буйнакский узел** – до недавнего времени характеризовался наиболее сильными землетрясениями в пределах Большого Кавказа $M_{max} = 5.6$ (1970). Максимальные землетрясения также проходили в верхней части кристаллического фундамента (13–16 км). Прогнозная $M_{max} = 7.0$.
- 1в. **Махачкалинский участок** также характеризуется достаточно высокой наблюдаемой сейсмичностью $M_{max} = 5.5$ (1958 г.). Его отличительной особенностью является весьма малые глубины очагов сильных землетрясений (около 5 км). Очаги таких землетрясений, как правило, приурочены к участкам с нефтяным (≈ 5 км) залеганием фундамента. Прогнозная $M_{max} = 6.0$.
2. **Андык-Кошурская зона ВОЗ** выделяется лишь по сейсмологическим данным. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M_{max} = 4.8$ (1901 г.). Прогнозная $M_{max} = 5.5$.
3. **Гудермесская зона ВОЗ** приурочена к достаточно узкой (порядка 10 км) в плане сбросовой погребенной зоне, ориентированной с запада–северо-запада на восток–юго-восток простирации. Характеризуется сравнительно не глубокими (порядка 10 км) очагами умеренно сильных ($M \geq 5$) землетрясений и приповерхностными ($\delta = 3–4$ км) очагами достаточно слабых ($M = 4$), но весьма ощущимых (до 7 баллов в эпицентре) землетрясений. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M_{max} = 5.2$ (1933 г.). Прогнозная $M_{max} = 5.5$.
4. **Бенояко-Зильдаровская зона ВОЗ** по границам на две подзоны: Моздокскую и Горагорский узел.
- 4a. **Моздокская подзона** расположена к западу от Горагорского узла и связана с аналогичной Гудермесской сбросовой погребенной зоне структурой (также простирающимся, но проходящим некоторого востоке). Максимальная наблюдаемая магнитуда $M_{max} = 5.3$ (1688 г.). Прогнозная $M_{max} = 5.5$. Очаги этой подзоны относятся к верхнему и среднекоровому.
- 4b. **Горагорский узел** расположен на пересечении сбросовой погребенной зоны, проходящей вдоль Моздокской подзоны ВОЗ, и погребенного талассийского разлома, выделяемого по геофизическим данным. Он характеризуется достаточно высокой сейсмичностью, приуроченной к двум уровням по глубине: нижнекоровому–верхнекоровому, с которым связано наиболее сильное Терекское землетрясение 1912 г. ($M = 5.7$) и верхнекоровому. К последнему относятся землетрясение 1989 г. ($M = 5.0$; $H = 13$ км). Прогнозная $M_{max} = 6.0$ во нижнему и 5.5 – по верхнему уровням. Горагорский узел непосредственно примыкает к Грозному с запада.

Таблица 4.3

Зоны ВОЗ и сейсмические воздействия от них на г. Грозный (в баллах шкалы MSK-64)

Индекс на рисунке	Зоны ВОЗ			I _{max} баллы
	Название	M_{max} в сейсмических слоях	M_{max} в сейсмических слоях	
1	Махачкалинский			
1a	Хасавюртский участок		6.0	6.0
1b	Буйнакский узел		7.0	7.0
1в	Махачкалинский участок		6.0	5.0
2	Андык-Кошурская	5.5	5.5	4.5
3	Гудермесская		5.5	7.5
4	Бенояко-Зильдаровская			
4a	Моздокская		6.0	6.0
4b	Горагорский узел	6.0	5.5	8.0
5	Черногорская	6.5	5.5	8.0
6	Лагич-Ахалская			
6a	Серноводский участок	6.0	6.0	7.0
6b	Аргунский участок		6.0	7.0
7	Владикавказская зона	6.0	6.0	6.5

Номер за- писи- е	Название	Зоны ВОЗ		Гео- базы
		M_{se} в сейсмостойких сбоях	M_{se} в сейсмоподатливых сбоях	
8	Барзакская		7.0	6.5
9	Водораздельного хребта	6.5	6.5	6.0
10	Джан-Лечумская	7.0		6.5
11	Северная краевая (южная ветвь)			
11а	Наурский узел	6.0		6.5
11б	Старомалхинский участок		5.5	6.0

5. **Черногорская зона ВОЗ** южной северной частью непосредственно захватывает територию г. Грозного. Она сливается с субмеридиональной зоной поперечного дробления, имеющей глубокое заложение. На сложные строения этой зоны указывают и разнородные ориентации блоков расположенных друг от друга отдельных землетрясений. Это связано с тем, что здесь происходит пересечение тектонических структур кавказского и антикавказского простирания. Сильные отголоски этой зоны относятся к нижнекоровым ($H > 25$ км), что несколько умеряет их сейсмическую опасность. Однако, для нее характерны и слабые приповерхностные очаги (способные создавать в небольшой амплитуде землетрясения сейсмический эффект до 7 баллов). Максимальная наблюдаемая магнитуда припадает к Черногорскому землетрясению 1976 г. ($M = 6.2$), по которому зона и получила свое название. Прогнозная $M_{se}^{***} \approx 6.5$.
6. **Джан-Лечумская зона ВОЗ** разделяется Черногорской линией на два участка: южный — *Седногорский* (6а) и северный — *Аргунский* (6б). Она примыкает к южной части Черногорской зоны и сливается с потребительскими расстояниями приближительно кавказского простирания. Очи и землетрясений этой зоны подразделяются на нижнекоренные и верхние формы, причем нижнекоровые характеристики, в особенности для Старомалхинского ее участка (6б). Максимальная наблюдаемая магнитуда 1981 г. ($M = 5.4$ (Старомалхинский участок). На Аргунском участке $M_{se}^{***} = 5.2$ (1931 г.). Северным участкам зоны приписана $M_{se} = 6.0$.
7. **Калачинская зона ВОЗ** получила наименование по одновременно фиксируемой разрывной зоне, но включает в себя также и проходящие пемзового ложе более южную Садонскую и Верхнеурускую южно-депрессионные зоны. С северо-востока к ней примыкает Черногорская зона. Землетрясения этой зоны относятся к верхне- и среднекоровым ($M_{se}^{***} = 5.4$ (1913 г.). Прогнозная $M_{se} = 6.0$. Однако, если принять во внимание выделение из зоны южной наименее опасной зоной, то ее M_{se} может быть увеличена до 6.5.
8. **Борзатская зона ВОЗ** расположена на пересечении южной провинции Грозненской зоны, поперечного дробления и зоны Егорново-Иванова. Сильнейшим землетрясением было Борзатское землетрясение 1992 г. с магнитудой 6.5, опущавшееся в Грозном с силой до 3 баллов. Зона характеризуется преимущественно нижнекоровыми землетрясениями, из которых помимо Борзатского отметим также землетрясение 15.08.1947 г. ($M = 5.5$, $h = 25$ км), произошедшее практически в центре землетрясений зоне.
9. **Зона ВОЗ Водораздельного хребта** вытянута с юга на север в субширотном направлении и совпадает, в основном, с зоной Главного падения. Характеризуется южной верхнекоровой сейсмичностью. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M = 6.0$ (1742 г.). Зона обрамляет ряд южных субширотных тектонических структур. Прогнозная $M_{se} = 6.5$.
10. **Джан-Лечумская зона ВОЗ** относится к южному склону Большого Кавказа и предупреждается собственной склонной системой южно-депрессионных зон. Неглубокое (2–4 км) залегание зригматично-склонного фундамента и высокие горизонтальные трансекты его поверхности, из-за этого, обуславливают предрасположенность этой зоны. В ней произошло наибольшее в пределах Большого Кавказа Ранинское землетрясение 1991 г. ($M = 6.9$), имевшее много сильных афтершоков, и, в частности, 3-е магнитудой $M > 6$. Вследствие недостаточной изученности зоны предварительная приписана по факту $M_{se} = 7.0$.
11. **Северная краевая (южная ветвь)** зона ВОЗ подразделяется на (11а) и *Старомалхинский участок* (11б). Наурский узел расположен на пересечении южной ветви погребенного Северного краевого разлома с продолжением погребенного валдайского разлома, южнее пересекающего Егорьевский узел. Характеризуется достаточно южной нижнекоровой сейсмичностью ($M_{se}^{***} = 6.0$ (1688 г.). Прогнозная $M_{se} = 6.0$ может рассматриваться в зависимости отвойской опаски. Дальнейшая

сейсмо-геотектоническая проработка материалов, относящимся к Наурскому узлу ВОЗ может привести к ее усилению.

Представленная на рис. 4.4 схема зон ВОЗ Северо-Восточного Кавказа используется для одного из вариантов оценки сейсмической сотрясаемости г. Грозного.

4.4. Оценка сейсмической сотрясаемости г. Грозного и ближайших населенных пунктов.

Первичными материалами для определения сейсмической сотрясаемости, то есть исходной базы для ее оценки служат:

- карта $M_{\text{ак}}$ или схема зон ВОЗ, на которой по сейсмо-геотектоническим и геофизическим данным, выделены зоны с той или иной максимальной ожидаемой магнитудой землетрясений ($M_{\text{ак}}$);
- карта (матрица) сейсмической активности $A_{\text{ак}}$, которая позволяет для каждой зоны ВОЗ определить присущую ей повторяемость землетрясений различных магнитуд $M \leq M_{\text{ак}}$;
- наклон графика повторяемости b , определяющий вместе с сейсмической активностью, повторяемость землетрясений различных магнитуд;
- уравнение макросейсмического поля, дающее корреляционную зависимость, наблюдаемой базы для землетрясений различной магнитуды;
- данные о глубинах очагов сильных землетрясений;
- линии в линейных размерах очагов землетрясений различной магнитуды.

В предыдущих разделах практически все эти первичные материалы были нами охарактеризованы.

Расчет сопротивляемости проводился двумя способами:

1. По приближенному методу (вручную) с использованием представлений выше схемы зон ВОЗ³. В этом случае предполагается, что внутри зон ВОЗ землетрясения с магнитудой $M \leq M_{\text{ак}}$ могут возникать в любой точке зоны с равной вероятностью, то есть для каждой такой зоны используются определенные показатели сейсмической активности. В этом варианте использовались карта (матрица) сейсмической активности $A_{\text{ак}}$ (рис. 2.3), наклон графика повторяемости для $b = 1.041$, характеристики землетрясений УИС и цезиев, и распределение процентного градуса землетрясений по глубине в радиусе 60–80 км от г. Грозного (таб. 2.15) или расположениях в пределах такой удаленности от Грозного зон ВОЗ или общее для Северо-Восточного Кавказа распределение гипоцентров по глубине (таб. 2.10) – для более детских зон ВОЗ. Расчет сейсмической сотрясаемости в этом случае велся по приближенной формуле, являющейся упрощенным аналогом интеграла сотрясаемости [51]:

$$0.01 \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{M_{\text{ак}}} (S^M / 1000) B^M \cdot R^j$$

где S^M – гипотеза повторения с интенсивностью 1 Гипотеза от землетрясения с магнитудой M_j ($j = 1, 2, 3, \dots$ – номер зон ВОЗ, землетрясения из которых создаются на картируемой территории, эффект в 1 баллов; $j = 1, 2, 3, \dots$ – индекс значений магнитуд (в порядке их убывания с шагом $\Delta M = 0.5$), которые могут создавать сейсмический эффект интенсивностью 1 баллов, то есть $M_j = M_{\text{ак}} - \Delta M$ ($j = 1$); B_j – повторяемость магнитуды M_j в j -й зоне ВОЗ, создающей сейсмический эффект в 1 баллов; R^j – весовое распределение землетрясений магнитуды M_j по глубине, 1 – горизонтальная пролжимость очага, определяемая по макросейсмическим или инструментальным данным [3, 60]; R – радиус изосейсмости с дальностью R от землетрясения с магнитудой M_j , определяемая из уравнения (2.1). Для расчета сотрясаемости горизонтальная пролжимость очага оценивается визуально рифтогеодинамической зависимостью Н. В. Шебалина [60]:

$$\lg L_R \approx 0.5 M - 1.5$$

для верхних и среднекоровых ($h < 25$ км) землетрясений и по полученной для Северо-Восточного Кавказа зависимости В. П. Авериной

³ Кулаков А. Г., Неструев Г. А. Установление гипотезы сейсмичности Кавказского побережья Дагестана. В «ВЭО землетрясений и землетрясений Кавказского побережья Дагестана» (под ред. А. Г. Неструева). Краснодар: КГУ, 1993. 176 с.

$$\lg T_x = 0.35 M - 0.75 \pm 0.4$$

для для более глубоких очагов ($h > 25$ км).

2. По программе расчета сейсмической сотрясаемости с использованием матриц M_{max} Г.И.Рейнера и В.И.Уломова, построенной на основании его фрактальной решеточной модели сейсмического процесса [54,58], карты (матрицы) сейсмической активности (см. рис. 2.2), пакета графика повторяемости $B = 981$ для Центрального и Восточного Кавказа, данных о глубинах очагов землетрясений Центрального и Восточного Кавказа (табл. 2.8). Как при ручном, так и при машинном вариантах расчета сейсмической сотрясаемости используется УМП с параметрами: Н.В.Небалина (см. формулу (4.1)). Расчеты по Программе были выполнены А.И.Захаровой (ОИФЗ РАН) и И.И.Габсатаровой (ГЦ РАН, г. Обнинск).

При расчетах по упрощенной схеме все остальные параметры, кроме карты M_{max} практически совпадали с машинным вариантом расчетов. Как следует из схемы зон ВОЗ (рис. 4.4 и таблица 4.3) 8-балльные землетрясения на территории г. Грозного могут создаваться лишь землетрясениями, происходящими в Черногорской зоне ВОЗ и в Горагорском узле ВОЗ, в которых расположен г. Грозный. Прямой расчет сейсмической сотрясаемости по формуле (4.2) показал, что исходная сейсмичность в Грозном равна 8 баллам с повторяемостью $B_0 = 1/T_0$ и средним периодом повторения T_0 , соответственно равными:

$$B_0 = 2.074 \times 10^3 \text{ лет}^{-1}, T_0 = 494 \text{ года.}$$

Рассмотрим теперь результаты полученные по *Программе расчета сейсмической сотрясаемости*.

В этом случае в качестве расчетной глубины очагов обычно берется средняя глубина ($h_{\text{ср}}$) залегания сейсмоактивного слоя, которая определяется из распределения гипоцентров сильных землетрясений по глубине (см. раздел 2, таблицы 2.8, 2.10, 2.13). Она составила:

	$h_{\text{ср}}, \text{км}$
Центральный и Восточный Кавказ	18.4
Территория УМС	16.4
Район г. Грозного (окрестность радиусом 60-80 км)	20.1

Сейсмическая сотрясаемость рассчитывалась при 3-х глубинах залегания сейсмоактивного слоя (5 км, 10 км, 15 км), причем глубина $h_{\text{ср}} = 5$ км соответствует сильнейшим макрофокусным землетрясениям Кавказа последних лет – Синтакского (1988) и Рачинского (1991), а глубина $h_{\text{ср}} = 15$ км приблизительно равна средней глубине залегания сейсмоактивного слоя на территории УМС.

Результаты расчетов среднего периода повторения землетрясений на территории г. Грозного с 1 – 6, 7, 8, 9 баллами по матрицам M_{max} Г.И.Рейнера и В.И.Уломова приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4.

Варианты расчетов среднего периода повторения (T_0) землетрясений с различной балльностью для г. Грозного

$h_{\text{ср}}, \text{км}$	Вариант расчета	Средний период повторения (T_0), лет			
		T_0	T_1	T_2	T_3
5	по Г.И.Рейнеру	2.8	11.6	49.5	263.5
	по В.И.Уломову	2.8	11.6	48.5	241.0
10	по Г.И.Рейнеру	11.8	52.6	294.0	951.4
	по В.И.Уломову	11.4	52.6	297.0	1263.0
15	по Г.И.Рейнеру	26.4	138.0	476.6	–
	по В.И.Уломову	24.7	131.7	341.7	–

Расчеты по обеим матрицам M_{max} демонстрируют высокую степень сходимости результатов. В то же время из таблицы видно, что варианты с глубинами залегания сейсмоактивного слоя 5 км и 10 км должны быть отвергнуты по следующим причинам:

⁵ Рейнэр Г.И., Уломов Г.И. и др. Карта M_{max} прегорный зон г. Грозного республики Чечено-Ичкерия. Отчет о защите № С/бюллетеня Службы Гидрометцентра РСФСР № 10, 1994. Фонды ОИФЗ РАН (Система стареющих материалов).

- 3) Периоды повторения 6-ти и 7-ми балльных сотрясений далеки от реальности – на основании анализа макросейсмических данных за последние 150 лет 6-балльные сотрясения в Грозном наблюдались в среднем 1 раз в 40–50 лет, а 7-балльные не наблюдались совсем.
 - 4) Согласно инструментальным и историческим данным в радиусе 60–80 км от Грозного не было ни одного землетрясения с магнитудой $M > 5.0$, глубина очага которого была бы меньше 15 км.
 - 5) Данные по внутреннему строению в 60–80 километровой зоне вокруг Грозного свидетельствуют, что верхний 10 километровый слой земной коры вряд ли в состоянии накапливать напряжения достаточные для возникновения землетрясений с магнитудами $M > 5.0$.
- Поскольку расчетная глубина $h_{cr} = 15$ км соответствует средней глубине залегания сейсмоактивного слоя на территории УИС, этот вариант следует признать предпочтительным. Отметим, что он прекрасно согласуется с результатами прямого расчета сейсмической сотрясаемости по формуле (4.2) с использованием значений M_{max} из схемы зон ВОЗ.

Все это позволяет принять исходный (фоновый) сейсмический балл для г. Грозного равным 8 со средней повторяемостью $T_s \approx 500$ лет.

При оценках сейсмического риска помимо среднего периода повторяемости старшего балла используются также средние периоды повторения более низких баллов, начиная с I = 6 баллов. Рекомендуемые значения этих периодов повторяемости для г. Грозного и трех, расположенных вблизи от него, населенных пунктов – Аргун, Урус-Мартан и Шали приведены в таблице 4.5. Получение аналогичных оценок для более удаленных от Грозного населенных пунктов Чеченской Республики требует проведения дополнительных исследований.

Таблица 4.5.

Средние периоды повторения (T_s , лет) сотрясений различной балльности

I, баллы Населенные пункты	5	6	7	8
Грозный	15	26	135	497
Аргун	–	26.5	128	606
Урус-Мартан	–	23	102	477
Шали	–	25	96	457

Полученные оценки исходного сейсмического балла и его повторяемости с учетом локальных грунтово-геологических условий рекомендуется использовать при сейсмостойком проектировании и оценках сейсмического риска существующей и перспективной застройки.

Часть II

УТОЧНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНОГО

Сейсмическое микрорайонирование территории г. Грозного на площади 250 кв. км выполнено на основании результатов обширных комплексных исследований, включавших работы по уточнению исходной сейсмичности района (часть I настоящей книги), сбора, анализа и переинтерпретации материалов инженерно-геологических изысканий, инструментальных геофизических и сейсмологических наблюдений прошлых лет, а также на основе дополнительно проведенных исследований по оценке количественных характеристик сейсмических воздействий в эталонных грунтово-геологических условиях г. Грозного и расчетов характеристик этих воздействий на участках с различной сейсмичностью, выделенных на схематической карте сейсмического микрорайонирования. Дополнительно в 1995 году проведен небольшой объем проверочного бурения.

В процессе проведения исследований были проанализированы и частично пересмотрены материалы сейсмического микрорайонирования центральной части г. Грозного, выполненного РостовДоНТИСИЗом (1977 г.), и сейсмического микрорайонирования территории г. Грозного с учетом районов перспективной застройки, выполненного СКО СтавропольТИСИЗа (1985 г.).

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА г. ГРОЗНОГО

Город Грозный расположен в широкой долине р. Сунжи и частично захватывает склоны Сунженского, Грозненского и Новогрозненского хребтов и разделяющие их долины.

Современный рельеф изучаемого района сформировался под влиянием орогенетических процессов, образовавших Грозненскую, Новогрозненскую и Сунженскую складки и последовавшего затем разрушения этих складок деятельностью деструктивных эрозионно-денудационных процессов и размывом поверхностными водами.

Денудация после тектонических процессов складкообразования была значительная, завершилась относительным сглаживанием рельефа, но не зашла слишком далеко, в результате чего на большей части территории сохранился прямой унаследованный рельеф.

Сунженский хребет в своей восточной части протягивается в субширотном направлении вдоль левого берега р. Сунжи.

Грозненский хребет, начинаясь у г. Границного, достигает п. Ташкала. Протяженность хребта составляет около 20 км. Северный склон хребта обрывистый, изрезанный глубокими балками.

Новогрозненский хребет отделен от Сунженского и Грозненского хребтов долиной р. Сунжи. Хребты эти невысокие, пологие, возвышаются над долиной р. Сунжи на 100–200 м.

Алханчуртская долина имеет широкое, плоское днище, тальвег выражен нечетко, борта пологие, постепенно переходящие в склоны хребтов.

Долина р. Сунжи имеет симметричное строение. Выделяется узкая пойма и пять надпойменных террас.

Основными водными артериями Пригрозненского района являются р. Сунжа, пересекающая центральную часть Грозного с юго-запада на северо-восток, а также ее притоки — р. Нефтянка, протекающая по Алханчуртской долине и р. Гойта, пересекающая территорию города с юго-востока на северо-запад. На р. Гойте построено Чернореченское водохранилище и в черте города она полностью зарегулирована.

Изучаемая территория характеризуется высокой степенью сложности инженерно-геологических, гидрогеологических и инженерно-сейсмологических условий как в целом, так и в пределах участков первоочередного и перспективного строительства и восстановления г. Грозного. Эта сложность определяется следующими факторами:

- высокой относительной и суммарной просадочностью грунтов при мощности просадочной толщи до 30 м;
- высокой сжимаемостью водонасыщенных глинистых грунтов;
- подтоплением, развитым на значительной части территории;
- сложностью тектонических форм;
- высокой сейсмичностью района.

Подтопление в настоящее время приняло прогрессирующий характер из-за прекращения работы правобережного водосбора р. Сунжи, разрушения водонесущих коммуникаций и прекращения эксплуатации дренажной системы в Старопромысловском районе.

Вся территория Чеченской Республики относится к зоне с высокой сейсмической опасностью. Согласно Временной схеме сейсмического районирования Северного Кавказа, разработанной РАН и введенной в действие письмом Госстроя России от 1 июля 1994 г. N БЕ-19-12/8 для большей части Республики, включая г. Грозный, исходная (фоновая) сейсмичность увеличена от 7 баллов с периодом повторяемости 100 лет (по СНиП II-7-81), до 9 баллов с периодом повторяемости 1000 лет. Для территории г. Грозного в рамках настоящей работы проведено уточнение исходного (фонового) балла, о чем подробно изложено в части I книги.

По степени изученности территория города разделяется на три зоны.

Наиболее детально изучен Старопромысловский район в рамках гидромониторинга на площади ~~около~~ 50 кв. км в масштабе от 1:1000 до 1:10000 (ЭПОС, 1992г.).

На центральные районы города имеется карта сейсмического микрорайонирования в масштабе 1:10000 на площади 50 кв. км (НПО «Стройизыскани», 1985г.), требующая уточнения и корректировки в связи с изменением фоновой сейсмичности и гидрогеологических условий.

Остальная часть города площадью более 200 кв. км охарактеризована схематически (СКО ДНИИИС, 1967 г.).

По городу Грозному протекает река Сунжа, ее левым притоком является р. Нефтянка, а правым – р. Гойта.

Пойма у рек практически отсутствует, и выражена лишь местами.

В пределах г. Грозного ширина русла р. Сунжи составляет от 25 до 80 м, глубина 0,7÷2,0 м, скорость течения 0,8÷1,0 м/с.

Основным источником питания реки являются подземные воды – до 66%. Второе место занимают дожди (21%), таяние снега и ледников составляет 13%. Весенне-летние паводки начинаются в феврале и продолжаются до конца ноября.

Амплитуда колебаний уровней реки (H_{\max}) за год над меженным – 3,5÷4,0 м, в исключительных случаях – 6÷7 м. Водосборная площадь (F) составляет 4820 кв. км, высота «О» графика поста – 118,15 м БС.

Максимальный расход за весь период наблюдений (Гнабл.) составил $613 \text{ м}^3/\text{с}$ в 1958 г.

Уклон водной поверхности равен 0,0015. Зимняя межень продолжительная и устойчивая.

Минимальный расход воды наблюдается в декабре-январе. Летне-осенняя межень отсутствует, в летнее время проходит большая часть годового стока.

Годовые минимумы ниже меженных на 0,2÷0,3 м. Ледостав наблюдается почти ежегодно, толщина льда не превышает 25÷30 см. В среднем мутность может достигать $2,3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Гидрохимия изучена недостаточно. По пригодности воды для питья: вода в период половодья относится к хорошей питьевой воде, в межень – к удовлетворительной.

Река Нефтянка протекает в северной части города у подножья Старогрозненского хребта, берет начало от аварийного сброса Алханчуртского канала выше села Первомайского.

При отсутствии дождей питание ее искусственно. Широко развитые галечниковые и песчаные грунты в бассейне фильтруют дождевую воду и не доносят ее до реки. Общая протяженность реки Нефтянка 90 км, площадь водосбора равна 1450 кв. км. Регулярные наблюдения за режимом р. Нефтянки не проводились.

При прохождении паводка по реке Сунже воды р. Нефтянки в нижнем течении находятся в подпоре.

Периодическому затоплению большими паводками подвергается территория аэродрома школы ДОСААФ.

Река Гойта протекает по территории города в своем низовье, длина 6 км.

Питание – неледниковое. Максимальные уровни за год наблюдаются в марте и мае. Ввиду того, что р. Сунжа в маловодные годы не может полностью удовлетворить потребность промрайона в воде, в долине р. Гойты создано водохранилище сезонного регулирования.

Площадь зеркала водохранилища – 109 га. Характерные уровни равны: максимальный – 13 м, минимальный – 1 м.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНОГО

2.1. Геоморфологические условия

Основными орографическими элементами рассматриваемой территории являются:

- террасированная долина р. Сунжи;
- древний конус выноса р. Аргун;
- Алханчуртская межгорная долина;
- склоны Грозненского хребта. В пределах долины Сунжи выделяется высокая и низкая пойма и пять надпойменных террас, наибольшим распространением из которых пользуется II терраса.

Специфической особенностью рельефа является сильная измененность поверхности пойменных и надпойменных террас в пределах г. Грозного, где они образуют единую выравненную поверхность.

Отдельным геоморфологическим элементом выделяется древний конус выноса р. Аргун, занимающий восточную и юго-восточную часть исследованной территории.

В рельефе конус выноса выражен очень слабо и его границы картировались по изменению геолого-литологического состава грунтов, мощности покровных отложений и по изменению простирания изолиний кровли гравийно-галечников с субмеридиональной на субширотное направление.

Алханчуртская долина, разделяющая Терскую и Сунженскую антиклинали, имеет широкое плоское дно, полого (0,5-1,0) наклоненное к востоку. Слабую волнистость ему придают широко распространенные формы рельефа просадочного и супфозионного генезиса: блюдца, западины, безрусловые ложбины. В тальвеге Алханчуртской долины, на всем протяжении ее изученной части протягивается узкая долина р. Нефтянки, являющейся коллектором для сброса канализационных и промыслового-технических вод.

Грозненский хребет входит в изученную территорию своим восточным окончанием. В формировании склонов основную роль сыграл плоскостной снос, что привело к образованию мощного делювиального чехла, представленного лессовидными просадочными суглинками. На склоне, особенно вблизи подножия, широко распространены микроформы рельефа просадочного происхождения.

2.2. Геологическое строение

В геологическом строении территории принимает участие комплекс мезо-кайнозойских отложений различного генезиса и литологического состава.

Самыми древними из вскрытых и выходящих на поверхность отложений являются породы неогенового возраста, представленные известковистыми и мергелистыми глинами, заключающими в себя прослои и линзы песчаников и конгломератов сарматского, мэотического, акчагыльского и ашшеронского ярусов. Глубина залегания этих отложений колеблется от 10–50 м на окружающих город хребтах, до 200–250 м в районе развития II–III надпойменных террас р. Сунжи.

Четвертичные отложения повсеместно развиты в межгорных депрессиях и на пологих склонах передовых хребтов, в балках и речных долинах, расчленяющих эти склоны, и представлены серией пород преимущественно терригенного происхождения (глинами, суглинками, песками, галечниками).

Наибольшее распространение по площади имеют верхнечетвертичные аллювиальные отложения, слагающие надпойменные террасы р. Сунжи и представленные фациально замещающими друг друга галечниками, гравием и реже песками с прослойми и линзами суглинков и глин. Мощность этих отложений колеблется от первых метров на высоких (IV и V) террасах до 200 и более метров на II и III террасах.

Древний конус выноса р. Аргун, сложен аллювиальными гравийно-галечниками с исключением валунов. Содержание песчано-глинистого заполнителя не превышает, как правило, 20–25%.

Покровные отложения, перекрывающие всю исследованную территорию, представлены суглинками и супесями, реже глинами макропористыми, твердыми и полутвердыми в зоне аэрации и текучими или текучепластичными — ниже уровня грунтовых вод. Все они в той или иной степени про-

являют просадочные свойства, причем величина суммарной просадки может достигать 1 м и более, составляя большей частью 0,15–0,20 м.

2.3. Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом отношении территория представляет собой артезианский бассейн двухярусного строения.

Верхний ярус представлен водоносным комплексом четвертичных отложений, содержащий напорно-безнапорные воды, заключенные в аллювиальных песках и галечниках.

Четвертичный водоносный комплекс делится на два водоносных горизонта. Нижний горизонт включает в себя водоносные отложения нижне- и среднечетвертичного возраста. Водовмещающими породами являются галечники с песчаным заполнителем. Имеющиеся в толще прослои суглинков и галечников с суглинисто-глинистым заполнителем играют роль относительных водоупоров и создают на отдельных участках местный напор. Невыдержанность этих прослоев по простианию создает условия для активного водообмена горизонта с залегающими выше подземными водами верхнечетвертичных и современных отложений, составляющими верхний водоносный горизонт четвертичного комплекса.

Описываемые подземные воды в пределах изученной территории представляют собой единый безнапорный водоносный горизонт, залегающий на глубинах от долей метра до 20–30 и более метров.

Строение водонасыщенной толщи в разных частях изученной территории различно. В северной части города и в Алханчуртской долине горизонт представлен двухслойной толщей, водовмещающими породами которой являются лессовые суглинки и подстилающие их гравийно-галечниковые отложения. В центральной и южной частях города водовмещающими являются песчано-галечниковые отложения. Несколько отлично гидрогеологическое строение Заводского района г. Грозного, где водоносность отложений определяется, главным образом, техногенными причинами.

Региональным водоупором для водоносного комплекса четвертичных отложений являются породы неогенового возраста, залегающие на глубинах от первых метров на отдельных участках в Заводском районе до 200 и более метров в северо-восточной части изученной территории.

В качестве относительного водоупора в пределах большей части Сунженской долины принимается кровля выдержанного по площади суглинистого прослоя, разделяющего верхний и нижний ярусы верхнечетвертичных отложений на глубине 30–35 м. В Заводском районе, где р. Сунжа пересекает переклиниали Сунженской и Новогрозненской складок, водоупором являются глинистые отложения неогена, залегающие на глубинах 20–50 м. Для Алханчуртской долины относительным водоупором является поверхность среднечетвертичных пролювиально-делювиальных суглинков, залегающих под аллювием на глубине 20–40 м.

Серьезное влияние на формирование и залегание грунтовых вод района г. Грозного оказывает само положение города в почти замкнутой межгорной котловине, что затрудняет как подземный приток, так и отток подземных вод и придает им черты застойного характера.

Общей закономерностью является увеличение глубины залегания грунтовых вод с севера на юг, связанное с повышением в этом направлении абсолютных отметок поверхности. Исключением является лишь юго-западная часть Заводского района города, где грунтовые воды вскрываются на глубинах 1–5 м, но это связано с отмеченным выше превалирующим влиянием здесь техногенных факторов в формировании подземного потока.

В результате проведенных на территории города исследований установлено, что на большей части территории Грозного русло р. Сунжи является «подвешенным» и питание грунтовых вод происходит в режиме свободной фильтрации. И только в северной части города подземные и поверхностные воды гидродинамически связаны между собой.

Окружающие город низкогорные хребты в гидрогеологическом отношении характеризуются спорадическим распространением грунтовых вод. Формирование подземных вод здесь связано, главным образом, с хозяйственным освоением территории, в основном, с добычей нефти и за качкой воды в пласты. Подземные воды встречаются отдельными линзами, связанными с понижениями в рельефе коренных пород и в виде трещинных вод верхней части коры выветривания сарматских глин. Для территории города характерен процесс подъема уровня грунтовых вод.

Интенсивный подъем уровня воды в Алханчуртской долине непосредственно связан с построением в начале 30-х годов Алханчуртовским каналом.

Превалирующее влияние имеют антропогенные факторы в формировании режима и явном преобладании приходных статей баланса над расходными. Подтверждает этот вывод и довольно высокая загрязненность грунтовых вод нефтепродуктами, особенно в Заводском районе города, где их скопилось более 1,8 млн. тонн (Гипрогорннефть, 1971).

В результате ожидаемого дальнейшего подъема уровня грунтовых вод процесс подтопления территории города распространится еще шире. Это вызовет дальнейшее замачивание снизу просадочных лесовых грунтов, что приведет к дальнейшему распространению по площади просадочных деформаций, ухудшению несущей способности грунтов и ухудшению их сейсмических свойств.

Для предотвращения негативных последствий подъема уровня необходимо предусмотреть проектирование защитных мероприятий, обеспечивающих поддержание стабильного уровня грунтовых вод.

На примере Старопромысловского района сотрудниками Экспертно-инженерного центра «ЭПОС» была выполнена оценка гидрогеологических условий и дан прогноз глубины залегания УГВ в пределах территории г. Грозного с использование методов математического моделирования и инженерно-геологических аналогий. Осредненная максимальная амплитуда подъема УГВ в пределах города составит по прогнозу до 2005 года 2 м по отношению к положению УГВ на 1995 год.

2.4. Активные разрывные нарушения

Сложность инженерно-геологических, сейсмологических и гидрогеологических условий обуславила необходимость дополнить результаты сейсмического микрорайонирования более детальной оценкой разрывных тектонических нарушений на территории г. Грозного.

При изучении разломов в сейсмоактивных областях литосферы решаются две проблемы: 1) необходимость дифференциации разломов по степени потенциальной сейсмоопасности; 2) необходимость их оценки как зон повышенной мобильности, неблагоприятных для строительства [7]. Исследованная на территории города разломная зона может внести дополнительный негативный вклад в общий характер последствий сейсмического события:

- 1) зона сама по себе является крупным концентратом напряжений;
- 2) гетерогенность внутреннего строения деструктивной области вызывает и резкую гетерогенность поля напряжений внутри зоны, что обуславливает высокую мобильность зоны и низкую устойчивость при сейсмических воздействиях;
- 3) мобильность внутриразломного объема обусловливается и пониженной вязкостью пород по сравнению с окружающими территориями [9].

Для изучения и картирования разрывных нарушений были использованы космические фотографии (КФС) и данные наземных геологических и геофизических исследований.

На КФС с разной степенью отчетливости дешифрируется серия разрывов или отдельные фрагменты. Наиболее четко дешифрируются разрывы северо-западного простирания, группирующиеся в систему, прослеживающуюся на Сунженском хребте и Октябрьском поднятии и пересекающую юго-западную часть г. Грозного. В региональном плане эта сложная система относится к Бенойско-Эльдаровской зоне разломов.

Эта зона имеет северо-западное простирание и пересекает Сунженскую и Терскую антиклинальные зоны и разделяющие их впадины. Прослеживается она от Беноевского уступа Большого Кавказа, восточнее с. Шали, через западную окраину г. Грозного, ст. Первомайскую, г. Эльдарово и, вероятно, в районе г. Моздока [5]. Разлом представляет в целом правый сдвиг и имеет большое значение в образовании общей структуры прогиба. В Сунженской антиклинальной зоне он обрывает восточную часть со сдвигом Старогорненского хребта к северу, а Октябрьского к югу. В Терской антиклинальной зоне, в месте пересечения с Бенойско-Эльдаровским разломом, образовалась «миндалина», обрамленная на юге Горско-Калаусским хребтом, на севере – Эльдаровским. Являясь зоной раздвига, «миндалина» обладает высокой проницаемостью и активностью. Бенойско-Эльдаровский разлом регулирован распределением фаций и мощностей. К востоку от разлома в нижнем майкопе развиты глыбовые внедрения, а также происходит резкое увеличение мощностей сарматских отложений.

Наиболее детально Бенойско-Эльдорадовская зона разломов изучена в районе г. Грозного, между Старогрозненским и Октябрьским нефтяным месторождениями. Она представлена здесь двумя разломами: западным и восточным. Западный проходит вблизи пруда и Грозненского «моря». С ним связаны радионовые воды, выведенные скважинами, на базе которых была организована водолечебница. В районе п. Аварийного в зоне разлома предполагается эксплозивный центр, поставляющий андезитовые туфо-брекчии.

Эксплозивный центр предполагался еще А.П. Герасимовым (1920), позже Е.Е. Милановским, М.Н. Смирновой, Т.В. Яковлевой (1968) и др. [5, 6, 14–18].

Восточный разлом прослеживается в районе п. Иванова, Ташкалы, в районе нефтеперегонного завода, старого кладбища в Октябрьском районе, на промысловых участках Октябрьского месторождения.

Инфраструктура зоны имеет сложное строение и характеризуется сочетанием складчатых дислокаций с надвигом и взбросами с преимущественным падением плоскостей разрывов к северо-востоку. Общая ширина зоны в плане порядка 3 км.

На территории г. Грозного и прилегающих районов дешифрируются и другие разрывы, не входящие в названную систему дислокаций. На КФС их кинематические характеристики не всегда могут быть определены, но среди них можно предполагать существование как надвигов и взбросов, так и сбросов, в том числе со сдвиговой составляющей.

Основные дешифровочные признаки разрывов следующие: 1) линейное расположение элементов рельефа, в том числе уступов в рельефе или перегибов склонов; 2) изменение рисунка рельефа (фотоизображения), реже — смена по прямой или изгибающейся линии.

Выраженность в рельефе позволяет говорить об их современной активности. Об активности разрывов можно судить, в частности, по тому, что в ряде случаев они выражены изменением щирины поймы р. Сунжи с образованием островов или небольших неврезанных меандров в опущенном блоке.

Сопоставление отдешифрованных разрывов с геологическими и геофизическими данными показало их хорошую сходимость. В частности, некоторые отдешифрованные фрагменты точно совпадали с установленными зонами в обнажениях по берегам р. Сунжи. Часть зон отображена в результатах гравиметрической съемки масштаба 1:50 000.

Трестом «Грознефтегеофизика» еще в 1972 г. были проведены повторные гравиметрические исследования на профилях №№ 20 и 21, первоначально выполненные в 1965 г. замеры производились одним и тем же прибором. Кривая аномалий силы тяжести в редукции Буге при $= 2,0 \text{ г/см}^3$ изменилась в среднем на 0,5 мГл. Наибольшие изменения наблюдались на «клине» [18].

Повторные нивелировки на Старогрозненском нефтяном месторождении показали резко дифференцированные вертикальные движения на месторождении. Большая часть структуры испытывает восходящие движения более +10 мм в центральной части. Старогрозненский очаг находится в зоне сочленения разнонаправленных движений от +5 мм до -5 мм. Исследования М.В. Мухина подтверждены на отдельных профилях работами В.А. Сидорова [13], описаны случаи интенсивного отседания структур при длительной эксплуатации нефтяных месторождений. Старогрозненские месторождения эксплуатируются более 100 лет и, как оказалось, испытывают подъем продуктивных горизонтов. Это обстоятельство возможно объяснить лишь чрезвычайно активными современными восходящими движениями.

Во время землетрясения 1971 года активизировались отдельные участки Бенойско-Эльдорадовского разлома. В п. Гирагарском произошел крупный оползень, в результате которого 4 дома по ул. Гредерной сползли в овраг и были разрушены. На въезде в поселок стоял трехэтажный дом, который во время землетрясения был изогнут, а через несколько дней его разорвало [16].

Подобные случаи описывались на Старогрозненском месторождении еще в начале века. В журналах «Нефтяное дело» упоминались случаи разрушения казарм (жилых помещений для рабочих), расположенных на склоне Грозненского хребта. По современным данным они были расположены в «клине», при отсутствии видимых оползней казармы «растаскивало».

Наконец, самый неожиданный случай упоминается К.А. Прокоповым [11], когда в глубоком шурфе вблизи нефтяного озера через 10 лет изменился угол падения на 1-1,5 градусов. В 30-х и 40-х годах нефтяного озера уже не существовало и попытки геологов проверить этот факт не увенчалась успехом. Поскольку речь шла об Октябрьском нефтяном месторождении, то активизировался также Бенойско-Эльдорадовский разлом.

При Спитакском землетрясении в Армении, проявившемся в г. Грозном с интенсивностью 4 балла, в оползневых районах Чечни наблюдалась активизация, в том числе в зоне Бенойско-Эльдаровского разлома. В районе Соленой балки произошел крупный оползень и восстановился минеральный источник, иссякший еще в 20-х годах.

Бесспорным показателем активности является миграция флюидов, проявляющаяся в изменении пластовых давлений, температур, дебитов скважин. Это особенно интенсивно проявляется в связи с землетрясениями, но достаточно резкие изменения происходят и в периоды затишья.

На долинной части городской застройки разрывы практически не дешифруются, хотя и в этом случае есть косвенные признаки, позволяющие их трассировать из горного обрамления (особенности строения поймы р. Сунжи, реликты естественного рельефа в городских кварталах и, в какой-то мере, даже ориентировка некоторых улиц, приспособливающаяся к микрорельефу).

При рассмотрении данных дешифрирования КФС обращает на себя внимание некоторая нестыковка разрывов по разные стороны долины р. Сунжи. Это можно объяснить тем, что долина Сунжи на этом участке в целом приурочена к разлому северо-восточного простирания, но на КФС этот разлом не дешифрируется, и об его возможном существовании можно только предполагать. Вместе с тем единство Бенойско-Эльдаровской зоны разломов по разные стороны Сунжи не вызывает сомнений: рисунок изображения участков по разные стороны долины Сунжи совершенно идентичен.

Разломная зона, детализированная в пределах города, отображена на схеме инженерно-сейсмических условий в виде частично прерывистой полосы, границы которой соответствуют латеральным границам зоны (см. далее на рис. 3.3).

Важнейшей практической задачей является оценка ширины области вблизи разлома, которую следует исключить из строительства как неблагоприятную (или сопроводить ее застройку и эксплуатацию соответствующими рекомендациями).

Для сокращения времени на расчеты для каждого конкретного разлома была предложена специальная номограмма, на которой по одной оси даны значения длин разломов, но другой — соответствующие им значения ширины зон динамического влияния (m), по третьей — значения экстремальной зоны, эксплуатацию которой следует сопроводить ограничениями [7].

При расчете номограммы используется зависимость Р.М.Лобацкой $m = 0,09L + 15,2$ м [8]. Чем длиннее разлом, тем шире зона его динамического влияния, тем шире полоса неблагоприятной зоны, в границах которой при сильных землетрясениях возможно усиление воздействия или проявление неравномерных остаточных деформаций грунтов [9].

В связи с этим рекомендуется следующее:

1. В пределах области, ограниченной латеральными границами разломной зоны, следует проявить повышенное внимание при изучении и выборе площадок для строительства, а именно:
 - сопровождать новое строительство специальными геофизическими исследованиями, целью которых является уточнение инфраструктуры разломной зоны;
 - не планировать здесь впредь размещение ответственного строительства: общественных и культурных центров, школ, больниц и т.п.;
 - не размещать здания каркасно-панельных серий, весьма чувствительных к перегрузкам при сейсмических воздействиях к остаточным деформациям грунтов, которые могут возникнуть в этой области;
 - провести первоочередную паспортизацию и в случае необходимости усиление до расчетной сейсмостойкости конструкций существующих многоэтажных жилых зданий (в первую очередь каркасно-панельных серий и зданий, разрушенных до 3 степени при военных действиях).
2. В пределах зоны по 270 м по обе стороны от показанных на схематической карте сейсмического микрорайонирования масштаба 1:10000 разрывов исключить последующую капитальную застройку, для существующей застройки выполнить рекомендуемые выше мероприятия. Провести в этой зоне специальные геофизические, в том числе режимные, исследования для уточнения инфраструктуры разломной зоны и, соответственно, изложенных здесь рекомендаций.

2.5. Физико-механические свойства грунтов

Нормативные показатели физических свойств грунтов покровной толщи приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

Нормативные значения физических свойств грунтов покровной толщи

Наименование грунта	Геологический индекс	Число пластичности д.е.	Плотность т/м ³	Природная влажность	Показатель текучести	Коэффициент пористости	Категории грунтов	
							по сейсмич. свойствам	по просадочности
Суглинок от твердого до текучепластичного непросадочный	V _{ped} Q _{ii-iv}	0,10	1,87	0,23	0-1,47	0,76	III	—
Суглинок твердый и полутвердый (редко тугопластичный)	V _{ped} Q _{ii-iv}	0,11	1,71	0,15	0-0,37	0,82	III	I
Суглинок твердый (редко тугопластичный)	V _{ped} Q _{ii-iv}	0,10	1,58	0,14	0-0,3	0,96	III	II
Супесь от твердой до текучей	V _{ped} Q _{ii-iv}	0,06	1,86	0,21	0-1,7	0,76	III	—
Супесь твердая	V _{ped} Q _{ii-iv}	0,05	1,65	0,12	0-0,1	0,83	III	I
Супесь твердая и пластичная	V _{ped} Q _{ii-iv}	0,06	1,60	0,11	0-0,3	0,88	III	II

Просадочные свойства грунтов характеризуются по единичным определениям на отдельных промплощадках и объектах г. Грозного. В толще просадочных грунтов величина относительной просадки изменяется в достаточно широких пределах от 0,01 до 0,05 и более в интервале нагрузок от 1 до 2 кг/см², при бытовой нагрузке в пределах первых 10 метров она может достигать в среднем 0,03-0,05. Начальное просадочное давление по отдельным образцам очень высокое от 0,2 до 1,2 кг/см², что не соответствует характеру просадочных грунтовых толщ и, вероятно, может оказаться значительно ниже.

Эти данные при больших мощностях просадочной толщи характеризуют ее очень высокой величиной суммарной просадочности. В связи с чем просадочные свойства, а также прочностные свойства покровных образований должны быть дополнительно изучены на каждой конкретной площадке строительства.

Петрографический состав галечников, развитых в пределах надпойменных террас р. Сунжи, представлен преимущественно осадочными породами — известняками, песчаниками, мергелями и мергелистыми глинами.

В пределах древнего конуса выноса р. Аргун в составе валуно-галечниковых отложений содержится более 50% обломков кристаллических пород — гранитов, гнейсов, метаморфических сланцев, около 40% обломков представлено осадочными породами — известняками, мергелями, песчаниками.

2.6. Физико-геологические процессы и явления

Пораженность изученной территории современными физико-геологическими процессами достаточно высокая, но их площадное распространение неравномерно.

Наиболее широко развиты процессы просадочности, подтопления и оползневые явления.

Процессы просадочности в этой или иной степени проявляются практически на всей исследованной территории. Мощность просадочной толщи меняется от 1-2 до 20-30 и более метров. При этом наибольшая мощность просадочных грунтов отмечена в Алханчуртской долине и в нижних частях склонов низкогорных террас, а также на высоких (IV и V) террасах р. Сунжи. Минимальная мощность просадочной толщи характерна для центральной, наиболее подтопленной части Алханчуртской долины и поверхности древнего конуса выноса р. Аргун в восточной части изученной территории. Преобладают районы со II типом грунтовых условий по просадочности, величина суммар-

ной просадки в которых может достигать 1 и более метров. Центральная часть города сложена грунтами с 1 типом грунтовых условий по просадочности. Анализ результатов лабораторных определений просадочных свойств грунтов показал, что при мощности просадочной толщи более 10 м грунты относятся ко II типу грунтовых условий по просадочности, менее 5 м — к I. В районах с мощностью просадочных грунтов 5–10 м могут быть встречены грунты как I, так и II типов грунтовых условий по просадочности.

На местности просадочные свойства грунтов проявляются в образовании просадочных блюдец и западин, а также в деформации зданий и сооружений. Отмеченная выше тенденция к подъему уровня грунтовых вод дает основание предположить дальнейший рост площади распространения и интенсивности просадочных деформаций.

Главным образом с просадочностью связаны широкоразвитые на склонах окружающих пород хребтов оползневые явления, при которых замачиваемые лессы изменяют свою структуру, уплотняются и начинают проседать, образуя на поверхности сухого и смоченного слоев плоскости скола. Отколовшиеся массы грунта выдавливают из-под основания откоса переувлажненный лесс.

После этого деформации развиваются как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях и приобретают вид характерных оползневых подвижек.

Общая пораженность склонов оползнями составляет 0,3-0,5, причем специализированными исследованиями, проведенными СКО ПНИИИС в 1967 г. установлено, что в условиях Передовых хребтов образование и развитие оползней возможно на склонах с крутизной, начиная с 6° . Активизация оползневых явлений наблюдается на участках, нарушенных деятельностью человека: строительство, прокладка дорог, проходка глубоких скважин и т.п.

Отмеченное выше широкое развитие процесса подтопления привело к заболачиванию отдельных участков изученной территории, связанному с высоким стоянием уровня грунтовых вод. Наиболее распространены эти процессы в западной части Алханчуртской долины и в районе поселка Старая Сунжа, а также в основании уступов высоких террас, где происходит выклинивание грунтовых вод. Преобладают заболоченности подземного питания, выраженные на местности мочажинами и зарослями влаголюбивой растительности. При дальнейшем подъеме уровня грунтовых вод степень и масштабы заболачивания в будущем могут значительно возрасти, ухудшив экологическую обстановку в городе и осложнив хозяйственное освоение территории.

Развитию супфозионных процессов на территории города способствует характер его геологического строения, отличающегося неоднородностью гранулометрического состава толщи, в результате чего под воздействием фильтрующейся воды происходит вымывание пылеватых и глинистых частиц покровных лессов в подстилающие их грунты. Проявляются процессы супфозии в образовании провалов, воронок, местами в оседании поверхности. Развиты преимущественно на склонах Передовых хребтов, в прирусловой части р. Нефтянки, а также, местами, на II надпойменной террасе р. Сунжи.

Процессы оврагообразования имеют ограниченное распространение и проявляются, главным образом, на крутых уступах высоких террас, склонах хребтов и примыкающих к ним участках Алханчуртской и Сунженской долин. В меньшей степени оврагообразование проявляется в долине р. Нефтянки и на крутых берегах р. Сунжи.

Процессы плоскостного смыва в пределах изученной территории проявляются достаточно слабо и развиты, главным образом, на склонах и, в меньшей степени, на поверхности высоких террас. Как показали специализированные исследования, на склонах с крутизной более 10° интенсивность плоскостного смыва сильная, $5-10^{\circ}$ — средняя, $3-5^{\circ}$ интенсивность слабая и на склонах с крутизной менее 3° плоскостной смыв практически отсутствует.

Наименьшим распространением на изученной территории пользуются процессы боковой и донной эрозии рек Гойты, Нефтянки и Сунжи.

Наличие бокового размыва подтверждается многочисленными излучинами русел, часто сопровождающимися трещинами отрыва и обвалами.

Боковая эрозия русел наиболее сильно проявляется на реках Нефтянка и Гойта, по руслу Сунжи она развита слабее, т.к. берега ее на значительном протяжении, особенно в центре города, закреплены и отчетливо выражена на северо-востоке территории, ниже пос. Старая Сунжа.

Донная эрозия развита в меньшей степени и отмечена преимущественно в долине р. Гойты и, частично, по руслу р. Нефтянки. Выражается в переуглублении русла, формировании порогов и быстротоков, размыве и переотложении современного аллювия.

3. СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНОГО

В качестве инструментальной основы сейсмического микрорайонирования использованы материалы сейсморазведочных и сейсмологических работ, выполненных Кавминводским комплексным отделом СтавропольТИСИЗа (ныне АО «КавТИСИЗпроект») при составлении карты сейсмического микрорайонирования в 1985 г.

Эти материалы были тщательно проанализированы и переинтерпретированы с учетом изменившейся за 10-летний период инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки. При расчетах сейсмических воздействий были применены принципиально новые программы, базирующиеся не на подборе акселерограмм-аналогов из Мирового банка данных, а на расчетах синтетических акселерограмм для конкретных сейсмологических условий.

3.1. Скоростные характеристики грунтов

Для анализа, обобщения и расчетов сейсмологических моделей было отобрано 130 сейсмозондирований АО «КавТИСИЗпроекта». С учетом переинтерпретации сейсмозондирований, выполненных РостовдонТИСИЗом при составлении карты сейсмического микрорайонирования Центральной части г. Грозного (1977 г.), общее число точек, в которых были определены скоростные характеристики верхней части разреза до глубины 10–15 м, составило 214.

Анализ скоростных характеристик грунтов позволил выделить на изучаемой территории 13 типов сейсмогеологических разрезов, использованных для расчетов приращений балльности по методу сейсмических жесткостей и параметров сейсмических воздействий (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Параметры расчетных разрезов на территории г. Грозный

№ разреза	№ слоя	Литология	Мощность слоя, м	Скорости сейсмических волн, м/с		Плотность г/м ³	УГВ, м	Декременты затухания волн	
				продольных	поперечных			продольных	поперечных
1	1	Суглинок	4	380	200	1,58	4	0,80	1,00
	2	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	3	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
2	1	Суглинок	5	280	150	1,58	8	0,90	1,10
	2	Суглинок	3	620	300	1,71		0,60	0,70
	3	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	4	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
3	1	Суглинок	2	240	140	1,58	4	1,00	1,20
	2	Суглинок супесь	2	350	210	1,71		0,80	0,90
	3	Галечник	4	1450	240	1,87		0,50	0,70
	4	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	5	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
4	1	Суглинок	3	310	170	1,58	17	1,00	1,20
	2	Суглинок	6	640	300	1,71		0,70	0,80
	3	Гравий и галечник	8	960	580	2,10		0,40	0,60
	4	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	5	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
5	1	Суглинок	2	260	160	1,58	2	1,00	1,20
	2	Суглинок	6	1450	240	1,71		0,60	0,80
	3	Гравий и галечник	8	1500	430	2,10		0,40	0,60
	4	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	5	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
6	1	Супесь	7	300	160	1,58	7	1,00	1,20
	2	Суглинок	8	1450	290	1,71		0,50	0,70
	3	Суглинок	5	1500	430	1,87		0,40	0,60
	4	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	5	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0

№ разреза	№ слоя	Литология	Мощность слоя, м	Скорости сейсмических волн, м/с		Плотность г/м ³	УГВ, м	Декременты затухания волн	
				продольных	поперечных			продольных	поперечных
7	1	Суглинок	2	290	150	1,58	11	1,00	1,20
	2	Суглинок супесь	9	490	300	1,71		0,70	0,80
	3	Суглинок супесь	5	1450	380	1,87		0,40	0,60
	4	Гравий и галечник	6	1600	420	2,10		0,40	0,50
	5	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	6	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
8	1	Суглинок	2	250	160	1,58	25	1,00	1,20
	2	Суглинок	8	380	220	1,71		0,60	0,70
	3	Суглинок супесь	10	620	350	1,87		0,40	0,50
	4	Гравий и галечник	5	1020	520	2,10		0,30	0,40
	5	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	6	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
9	1	Суглинок	7	360	210	1,58	7	0,90	1,00
	2	Суглинок	13	680	280	1,71		0,50	0,60
	3	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	4	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
10	1	Суглинок супесь	2	230	140	1,58	>10	1,00	1,20
	2	Суглинок супесь	9	420	280	1,58		0,70	0,80
	3	Суглинок супесь	29	550	310	1,87		0,40	0,50
	4	Глина неогеновая	—	2770	1090	2,40		0	0
11	1	Суглинок супесь	6	360	210	1,58	14	0,80	0,90
	2	Суглинок супесь	8	540	280	1,71		0,50	0,70
	3	Гравий и галечник	8	1020	530	2,10		0,40	0,50
	4	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	5	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
с/с «Гр» 12	1	Суглинок	4	380	230	1,71	4	1,00	1,20
	2	Галечник	5	1500	500	1,87		0,50	0,70
	3	Галечник	20	1720	620	2,15		0,40	0,50
	4	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0
13	1	Галечник	10	1220	700	2,15	>10	0,50	0,60
	2	Галечник	20	1720	750	2,15		0,40	0,50
	3	Галечник	—	2000	800	2,20		0	0

3.2. Спектральные характеристики колебаний грунтов по записям взрывов

Имитация слабых землетрясений осуществлялась скважинными взрывами на расстояниях 2,6–5,1 км от точек регистрации колебаний.

Регистрация колебаний грунтов при взрывах осуществлялась одновременно 9-ю станциями осциллографической записи.

Регистрирующая аппаратура, состоящая из светолучевого осциллографа Н 041 и сейсмометров С5С и СМ-3, была настроена на трехкомпонентную запись амплитуд смещения с увеличением порядка 4000–6000 в интервале периодов 0,03–2,0 с.

Записи взрыва, произведенные одновременно несколькими станциями в одном пункте, показали удовлетворительную амплитудно-фазовую идентичность регистрирующих каналов.

Обработка полученных трехкомпонентных записей взрывов (107 записей) производилась вручную путем сплошного промера амплитуд и периодов, а также на ЭВМ с получением спектров Фурье.

Приращения сейсмической интенсивности определялись относительно средних грунтов (станции 4, 8, 13, 19) путем сравнения максимальных амплитуд колебаний и их спектров.

В пределах рабочего отрезка записей колебаний грунтов при взрывах выделены три группы волн: продольные, поперечные и поверхностные.

Продольные волны, зарегистрированные в первых вступлениях, характеризуются весьма слабой интенсивностью, едва превышающей уровень микросейсм, и в расчетах не использовались.

Периоды колебаний продольных волн составляют 0,1–0,15 с.

Последующие волны с заметно увеличенной амплитудой и периодами порядка 0,28–0,45 с, подходящие с запозданием на 2–2,5 с, соответствуют поперечным волнам. Длительность этих волн 2–3 с.

Поверхностные волны, занимающие основную часть записи колебаний, выделяются наибольшей интенсивностью, в 2-3 раза превышающей размах колебаний поперечных волн и периодами, достигающими 0,5-0,67 с.

На основе анализа сейсмограмм и спектров Фурье установлено, что грунты изученной территории характеризуются относительно однородным частотным составом колебаний.

В большинстве случаев колебания грунтов от взрывов имеют спектры с четко выраженным одним максимумом на периодах 0,32-0,37 с (ПВ-2) и 0,44-0,56 с (ПВ-1).

Если колебания грунтов от взрывов в частотном отношении относительно однородны, то их амплитуды и спектральные плотности существенно различаются в зависимости от грунтовых условий, что позволило оценить приращения сейсмической интенсивности инженерно-геологических участков.

Наибольшие отклонения приращения сейсмической интенсивности относительно средних грунтовых условий при сопоставлении максимальных амплитуд получены на ст. 1 (+0,59 балла на суглинках мощностью более 10 м) и ст. 3 (-0,79 балла на галечниках мощностью более 20 м), на остальных участках приращения изменяются от +0,2 балла до -0,48 балла. В то же время по спектральным плотностям приращения несколько отличаются: ст. 1 - (+0,69 балла), ст. 3 - (-0,6 балла).

3.3. Спектральные характеристики колебаний грунтов по записям микросейсм

Для оценки резонансных свойств грунтов выполнена регистрация фона высокочастотных колебаний (микросейсм) в различных точках.

Всего выполнено 62 записи микросейсм в 48 точках.

На основе сплошного промера периодов микроколебаний составлены графики повторяемости.

В результате анализа записей микросейсм и графиков повторяемости были выявлены некоторые закономерности изменения частотного состава микроколебаний, связанные с инженерно-геологическими характеристиками (таблица 3.2).

Таблица 3.2.

Мощность надгалечниковых супесчано-суглинистых грунтов, м	Количество точек записей микросейсм	Преобладающие периоды колебаний грунтов, Т, с
2-5	11	0,08
5-10	17	0,12
10-15	9	0,18
более 15	12	0,18

Частотный спектр микроколебаний изменяется в зависимости от мощности рыхлых супесчано-суглинистых грунтов, перекрывающих галечники. Эта зависимость сохраняется до 15 м, при мощности более 15 м периоды колебаний практически не изменяются.

Сопоставление спектров колебаний грунтов, полученных по записям микросейсм и теоретическим расчетам, показало хорошую сходимость преобладающих периодов микросейсм и резонансных характеристик. Это свидетельствует о корректности оценки резонансных свойств грунтов по записям микроколебаний.

3.4. Оценка характеристик сейсмических воздействий в эталонных грунтово-геологических условиях

Высокочастотные объемные волны при близких землетрясениях малой энергии (будем называть их микроземлетрясениями) по сравнению с очаговыми осложнены различными волновыми явлениями в неоднородной, сейсмически мутной грунтово-геологической среде (рассеяние от однократного до диффузионного, рефракция, дифракция, интерференция, реверберация и др.). Грунтово-геологическая среда в ближней зоне очагов рассматривается как случайно неоднородная и здесь в эффективном виде изучаются ее трансформирующие свойства (поглощение за счет неидеальной упругости среды и рассеяние) для высокочастотных сейсмических колебаний, следя устоявшимся представлениям об этих явлениях [4, 12]. С учетом трансформирующих свойств среды осуществляется переход от очаговых сейсмических воздействий, изученных и описанных в части 1, к местным сейсмическим воздействиям на поверхности эталонной грунтово-геологической толщи.

Исходные данные и варианты расчета параметров микроземлетрясений

В качестве эталонной рассматривается грунтово-геологическая среда в пункте расположения продолжительного функционирования сейсмостанции «Грозный» ОМЭ ИФЗ РАН. Для решения поставленных задач использованы данные о колебательных характеристиках объемных волн от близких микроземлетрясений, полученные в ОМЭ ИФЗ РАН из станционных бюллетеней за 1976 и 1980–1992 годы. В рассмотрение включались записи объемных волн, частотный состав которых соответствует частотному составу ожидаемых больших ускорений колебания грунта.

Колебательные характеристики микроземлетрясений изучаются от источников, расположенных в конкретных сейсмоактивных зонах, опасных в пределах ближней зоны сильных землетрясений. Для территории г. Грозный максимальную опасность создают Терско-Сунженская, Владикавказская зоны, имеющие тождественно подобные очаговые условия и одинаковые очаговые сейсмические воздействия, а также Грозненская зона с существенно отличными очаговыми условиями и очаговыми сейсмическими воздействиями по сравнению с Терско-Сунженской и Владикавказской. В этих зонах по наблюдениям с.ст. «Грозный» должны рассматриваться землетрясения, магнитуда которых (M_{mm}) с учетом дисперсии величин приведена в табл. 3.3.

Таблица 3.3.

Магнитуда местных микроземлетрясений с частотным составом ожидаемых больших ускорений колебания эталонного грунта

Зона	M_{mm}	M_{mm} при значениях n			
		1	5	10	15
Т-С, ВЛД	6,5	3,5–4,5	2,2–3,1	1,6–2,5	1,3–2,2
ГРО	6,5	3,0–4,6	1,0–2,6	0,1–1,7	0,4–1,2

В таблице 3.3 n – коэффициент характерной неоднородности среды, непосредственно связанный с коэффициентом сейсмической мутности и рассеяния в среде сейсмических волн.

Чтобы надежно изучить трансформирующие функции эталонной грунтово-геологической среды необходима представительная статистика данных о микроземлетрясениях в интервале магнитуды M_{mm} от наибольшей до самой минимальной по табл. 3.3. За указанный период наблюдений с.ст. «Грозный» такая статистика данных получена. На рис. 3.1 приведены эпицентры местных землетрясений, классифицированные по магнитуде и глубине гипоцентра, для которых изучены соответствующие параметры. Кроме того, в сейсмоактивных зонах в радиусе <30 км от с.ст. «Грозный» были приняты к рассмотрению микроземлетрясения, для которых не определены географические координаты гипоцентров.

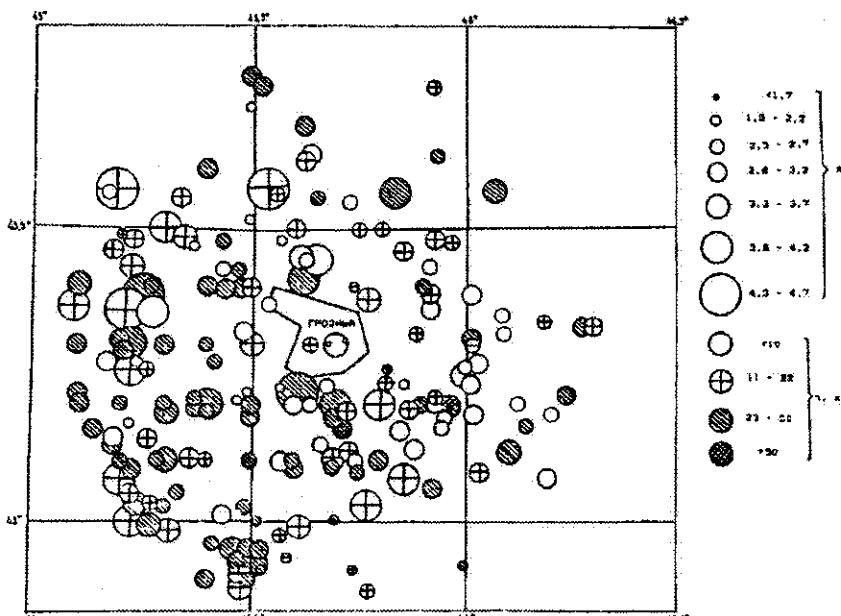


Рис. 3.1. Эпицентры землетрясений на площади с радиусом 50 км от сейсмостанции «Грозный», записи которых использованы для изучения рассеяния сейсмических волн

С целью изучения преобразующих свойств среды от очага до поверхности эталонного грунта за счет рассеяния по записям микроземлетрясений изучались закономерности параметров микроземлетрясений в зависимости от магнитуды по аналогии с закономерностями очаговых параметров.

Близкие землетрясения характеризуются рядом особенностей по сравнению с низкочастотными параметрами землетрясений большой магнитуды (макроземлетрясений).

Для микроземлетрясений оценивается лишь спектральный аналог стандартной магнитуды M . Эти оценки даются двумя способами, которые лежат в основе двух расчетных вариантов параметров микроземлетрясений. В 1-ом варианте очаговая магнитуда определяется через максимальные колебательные амплитуды объемных волн с учетом эффективного затухания. При этом период $T_d = 1/f_0$ определяет размер характерной неоднородности $l = L$.

Во 2-м расчетном варианте, как и в 1-м, оценивается величина l , а также сейсмический момент с учетом эффективного затухания.

В целом согласованность оценок магнитуды достаточно высокая, определяя соответствующую согласованность оценок других параметров и в конечном итоге точность производимых оценок. Чтобы учесть погрешности методов в корреляции параметров микроземлетрясений с магнитудой использовались результаты оценок по обоим расчетным вариантам.

В то же время, более существенные различия обнаружаются между нашими оценками и значениями магнитуды в предоставленном нам каталоге землетрясений ОМЭ ИФЗ РАН, в котором M пересчитана по энергетическому классу. В 46% случаев различия оценок не выходят за 0,2 единицы M , в 77% случаев — 0,4 единицы M , достигая максимальных различий в 0,8 единицы M . Эти различия обусловлены не различиями зональных энергомагнитудных соотношений, а неточностью определения эпицентров по отношению к с.ст. «Грозный».

Оценка коэффициента эффективного затухания максимальной амплитуды

При приведении максимальных колебательных и спектральных амплитуд к очагу для оценки параметров микроземлетрясений используются собственные для эталонных грунтово-геологических условий коэффициенты эффективного затухания. Для их определения по данным наблюдений с.ст. «Грозный» за 1976 и 1980–1992 годы на гипоцентральных расстояниях до 120 км составлены зависимости максимальной амплитуды объемных волн от расстояния в билогарифмическом масштабе раздельно для землетрясений с глубиной гипоцентра $h < 22$ км и $h > 23$ км и с энергетическим классом в перекрывающихся интервалах со скольжением через единицу K . Результаты оценок коэффициентов эффективного затухания и поглощения для максимальных амплитуд колебаний при разных интервалах K следующие: при $K = 6-8$ — 1,30, при $K = 8-10$ — 1,25, при $K = 10-11$ — 1,20. Убывание эффективного поглощения с расстоянием объясняется проникновением сейсмических волн в более глубокие толщи более добротных пород. При оценках параметров микроземлетрясений нами принят средний коэффициент эффективного затухания $I = 1,25$.

Трансформирующие функции эталонной грунтово-геологической среды в пункте расположения сейсмостанции «Грозный»

Полученные зависимости параметров близких землетрясений от магнитуды существенно отличаются от аналогичных зависимостей макроземлетрясений и менее существенно отличаются для очагов, приуроченных к разным глубинным толщам. Все полученные корреляционные зависимости подчиняются условиям подобия. По аналогии с очаговыми параметрами микроземлетрясений описываются пятью частными зависимостями по относительной величине дисперсии. Для параметров микроземлетрясений получены лог. нормальные распределения, близкие к среднезональному.

Существенные различия закономерностей параметров макроземлетрясений, изучаемых по низкочастотным колебаниям в телесейсмической зоне, и микроземлетрясений, изучаемых в ближней зоне очагов, связано в основном с эффектом рассеяния, который в эффективном виде может включать в себя и другие волновые явления объемных волн в неоднородной сейсмически мутной грунтово-геологической среде. Эти различия мы используем для оценки показателя сейсмической мутности среды на основе теории рассеяния сейсмических волн. В работе [19] за характеристику сейсмически мутной рассеивающей среды принятая величина

$$g = 2P(f, t)/V_P S U^2(f, t/2) \quad (3.1)$$

где: $g = 1/\lambda$ – величина, обратная длине свободного пробега волны в неоднородной среде, U – амплитудный спектр Фурье прямой очаговой (импульсной) волны, P – спектр мощности рассеянной объемной волны. Параметр g определяется в функции частоты колебаний (а следовательно, и магнитуды) по цугам колебаний при близких землетрясениях разного частотного состава по отношению к импульсной очаговой волне путем подбора моделей рассеяния от однократного до диффузионного [1, 2, 12 и др.].

Для оценки показателя рассеяния сейсмических волн в эффективном и обобщенном виде мы рассматриваем отношение величины (3.1) для рассеянных волн g , т.е. микроземлетрясений, для которых грунтово-геологическая среда априори сейсмически мутна, и очаговых волн g_0 , для которых грунтово-геологическая среда априори сейсмически прозрачна, т.е. для землетрясений большой магнитуды. При одних и тех же скоростных характеристиках среды отношение $\pi(M) = g_0(M)/g(M)$ тождественно равно отношению сейсмической энергии (спектров мощности в квадрате) рассеянных и очаговых волн, а также тождественно равно отношению длины очаговой волны к длине свободного пробега рассеянной волны и отношению эффективной длины очага к размеру характерной неоднородности среды. Величина $\pi(M)$ названа нами коэффициентом характерной неоднородности среды [1, 2].

С помощью частотно преобразующей функции зависимости от магнитуды параметров близких микроземлетрясений трансформируются в зависимости очаговых параметров от магнитуды.

Были определены локальные коэффициенты эффективного затухания (для ускорения колебаний v_d и ξ_d) рассчитанные по известному уравнению макросейсмического поля и по энерго-магнитудному соотношению.

Таким образом, для эталонной грунтово-геологической толщи изучены трансформирующие свойства, которые необходимо учитывать при прогнозе местных исходных сейсмических воздействий. К опасным относятся землетрясения с $M = 4,5$ и более, минимальный период колебаний при которых в S - волне 2,2-2,5 с, в P - волне 1,3-1,5 с в близлежащих к г. Грозный зонах. При $V_s = 3,3$ км/с и $V_p = 5,6$ км/с тонкая структура верхней толщи мощностью менее 1,8-2,0 км не рассеивает объемные волны. Поэтому можно считать, что рассеяние высокочастотных сейсмических колебаний происходит, в основном, в верхней части разреза, которая, как правило, наиболее неоднородна по структуре и свойствам слагающих ее пород, особенно грунтовая толща.

Прогнозные зависимости характеристик исходных сейсмических воздействий от магнитуды и расстояния

В принятой сейчас терминологии прогнозируемые в пункте расположения сейсмостанции «Грозный» сейсмические воздействия являются для его территории исходными, а грунтово-геологические условия этого пункта – эталонными при сейсмическом микрорайонировании. Зависимости характеристик сейсмических колебаний от магнитуды и расстояния будем составлять для смещений и ускорений, исходя из следующих основных положений:

- источником сейсмических колебаний с характеристиками, определяемыми отдельно для каждой сейсмоактивной зоны или входящей в нее зоны ВОЗ, является любая точка очага на глубине гипоцентра при фиксированном значении магнитуды;
- распространение сейсмических волн от источника до поверхности эталонной грунтово-геологической толщи описывается общепринятыми моделями, в которых для смещений колебаний учитывается расхождение и неупругое поглощение через локальные коэффициенты эффективного затухания, а для ускорений колебаний – дополнительно показатель рассеяния волн через коэффициент характерной неоднородности среды;
- с очаговыми продольными и поперечными волнами на дневной поверхности ассоциируются вертикальная и горизонтальная компоненты колебаний, соответственно.

С учетом сказанного характеристики сейсмических колебаний поверхности эталонной грунтово-геологической толщи описываются моделями для смещений и ускорений сейсмических колебаний. Для ускорений сейсмических колебаний (а) эти зависимости имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \lg a_{ij}^{se} &= \lg a_{ij}^{ps} + \lg n_j - \xi_{ij} \lg R, \\ \lg f_{ij}^{se} &= \lg f_{ij}^{ps} + \lg n_j - (\xi - 1) \lg R, \\ \lg n_{ij}^{se} &= \lg n_{ij}^{ps} + \lg n_j - (\xi - 1) \lg R = 88_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

для эффективной длительности колебаний

$$\lg \tau_{ij}^{se} = \lg \tau_{ij}^{ps} = \lg \tau_{(d_s)ij}^{ps} \quad (3.3)$$

В результате операций с лог. нормальными распределениями, в частности определяемыми по формулам (3.2) – (3.3), эти величины также подчиняются лог. нормальному распределению, которое принято нами как среднезональное.

Статистико-вероятностное описание характеристик получено на доверительном уровне 0,86. Прогнозные зависимости характеристик сейсмических колебаний эталонного грунта в г. Грозный в форме, аналогичной (3.2, 3.3), получены для источников в каждой выделенной сейсмоактивной зоне.

Таким образом, все возможное множество колебательных процессов в смещениях и ускорениях описывается в обобщенном виде через среднегеометрические значения максимальной амплитуды, соответствующего ей периода и эффективной длительности колебаний при фиксированном значении магнитуды и глубины гипоцентра. Характеристики колебаний грунта в интервале значений

$$X_j(M, h, R) - |\delta_{ij}| \leq X_j(M, h, R) < X_j(M, h, R) + |\delta_{ij}| \quad (3.4)$$

описываются частными зависимостями и реализуются с вероятностью P_j в расчете на одно землетрясение конкретной магнитуды.

Исходные сейсмические воздействия на территорию СМР г. Грозный

Исходные сейсмические воздействия представляются в виде объемлющих максимальные амплитуды ускорений в функции периода колебания грунта для среднестатистических значений, определяемых по зависимостям при $j = 3$, и для максимально возможных значений, определяемых по зависимостям при $j = 2$. Каждому дискретному значению амплитуды и периода колебаний приписывается соответствующая эффективная продолжительность колебаний и среднеквадратичное ускорение. По существу, такие данные представляют собой параметризованные прогнозируемые акселерограммы, по которым рассчитываются синтетические акселерограммы и спектры реакции на любом доминантном периоде [3, 5]. Каждая прогнозируемая характеристика является среднегеометрической величиной всего возможного множества ее значений при фиксированных магнитуде, глубине гипоцентра и гипоцентального расстояния при определенной вероятности реализации. В отличие от подхода в работе [5], отпадает необходимость подбора акселерограмм из банка мировых данных.

В табл. 3.4 приведены характеристики объемлющих максимальные амплитуды горизонтальной компоненты ускорений колебания эталонного грунта в интервале значений (3.4) при $j = 3$ и $j = 2$.

Согласно СНиП РФ представленные в табл. 3.4 данные о фактически возможных ускорениях удовлетворяют используемым методам расчета зданий и сооружений на сейсмические воздействия:

- спектральному методу в предположении упругого деформирования конструкций;
- методу расчета в неупругой стадии с использованием инструментальных записей движения основания при землетрясениях или синтезированных акселерограмм, наиболее опасных для данного здания (сооружения) и характерных для района строительства.

При этом нормативные значения максимальных амплитуд ускорений основания (условные сейсмические нагрузки) принимаются 100, 200, 400 $\text{см}/\text{с}^2$ для сейсмичности площадки 7, 8, 9 баллов шкалы MSK-64 соответственно.

В расчет сейсмической нагрузки по спектральному методу входит коэффициент сейсмического воздействия A для горизонтальной составляющей, принимаемый равным 0,1; 0,2 и 0,4 для сейсмичности площадки 7, 8 и 9 баллов соответственно и коэффициент динамичности β (T), соответствующий i -му тону собственных колебаний зданий и сооружений. Эти расчеты выполнены

ны с учетом данных табл. 3.4 для каждой выделенной на схематической карте сейсмического микрорайонирования зоны.

Расчетные значения сейсмической нагрузки и максимальных амплитуд ускорений оснований определяются как произведение их нормативных значений на коэффициент надежности по нагрузке, который определяется через произведение

$$\gamma = \gamma_n \cdot \gamma_2 \quad (3.5)$$

γ_n — коэффициента, учитывающего изменчивость значений А или максимальных амплитуд ускорений при заданной интенсивности воздействия в баллах в зависимости от заданного уровня обеспеченности;

γ_2 — коэффициента, учитывающего возможное превышение фактического (прогнозируемого) уровня воздействия по сравнению с условной нагрузкой при заданной сейсмичности площадки; при этом учитывается уровень обеспеченности: для объектов массового строительства вероятность не-превышения расчетной нагрузки 0,5, для объектов ответственного строительства максимальная вероятность непревышения 0,2.

Таблица 3.4.

Характеристики объемлющих максимальные горизонтальные ускорения колебаний эталонного грунта на территории г. Грозный

T, с	a, см/с ²	t, с	γ	σ, см/с	γ ₁	γ _n	γ ₂	I, балл
Для объектов массового строительства (MSS)								
0,100	130	7,4	0,59	76,7	0,650	0,650	1,00	7
0,125	165	8,7	0,59	97,4	0,825	0,825	1,00	7
0,150	195	10,0	0,59	115,0	0,975	0,975	1,00	7
0,166	210	11,2	0,59	124,0	1,050	1,050	1,00	8
0,175	175	11,7	0,59	103,3	0,875	0,875	1,00	7
0,200	135	12,3	0,59	79,7	0,675	0,675	1,00	7
0,225	110	12,8	0,59	64,9	0,550	0,550	1,00	7
0,250	95	13,3	0,60	57,0	0,475	0,475	1,00	6
0,275	85	13,9	0,60	51,0	0,425	0,425	1,00	6
0,300	70	14,4	0,62	43,4	0,350	0,350	1,00	6
0,325	65	14,9	0,62	40,3	0,325	0,325	1,00	6
0,350	55	15,4	0,63	34,7	0,275	0,275	1,00	6
0,375	50	16,0	0,63	31,5	0,250	0,250	1,00	6
0,400	50	16,5	0,64	32,0	0,250	0,250	1,00	6
0,425	45	17,7	0,64	28,8	0,225	0,225	1,00	5
0,450	45	18,9	0,64	28,8	0,225	0,225	1,00	5
0,475	45	20,0	0,64	28,8	0,225	0,225	1,00	5
0,500	45	21,2	0,64	28,8	0,225	0,225	1,00	5
Для объектов ответственного строительства (OSS)								
0,070	210	3,6	0,57	120	1,050	1,000	1,050	8
0,075	225	3,7	0,57	128	1,125	1,000	1,125	8
0,100	300	5,0	0,57	171	1,500	1,000	1,500	8
0,122	358	6,3	0,57	204	1,790	1,000	1,790	8
0,125	325	6,3	0,57	185	1,625	1,000	1,625	8
0,150	230	6,7	0,57	131	1,150	1,000	1,150	8
0,175	185	7,0	0,57	105,5	0,925	0,925	1,000	7
0,200	150	7,4	0,58	87,0	0,750	0,750	1,000	7
0,225	125	7,7	0,58	72,5	0,625	0,625	1,000	7
0,250	110	8,1	0,58	63,8	0,550	0,550	1,000	7
0,275	95	8,4	0,59	56,0	0,475	0,475	1,000	6
0,300	80	8,8	0,59	47,2	0,400	0,400	1,000	6
0,325	75	9,1	0,59	44,3	0,375	0,375	1,000	6
0,350	70	9,4	0,60	42,0	0,350	0,350	1,000	6
0,375	63	10,0	0,60	37,8	0,315	0,315	1,000	6
0,400	60	10,7	0,60	36,0	0,300	0,300	1,000	6
0,425	55	11,3	0,60	33,0	0,275	0,275	1,000	6
0,450	50	12,0	0,60	30,0	0,250	0,250	1,000	6
0,475	50	12,6	0,60	30,0	0,250	0,250	1,000	6
0,500	50	13,2	0,60	30,0	0,250	0,250	1,000	6

На территории г. Грозный определена максимальная сейсмичность 8 баллов, которой соответствует условная нормативная нагрузка 200 см/с^2 . Чрезвычайно важно, что:

- вероятность непревышения максимальные ускорения, определяемые по зависимостям при $j = 3$, составляет 0,5 и они используются в расчетах сейсмических нагрузок на объекты массового строительства с обеспеченностью 0,5;
- вероятность непревышения максимальные ускорения, определяемые по зависимостям при $j = 2$, составляет 0,07 и они используются в расчетах сейсмических нагрузок на объекты ответственного строительства с обеспеченностью 0,07.

В табл. 3.4 объемлющие максимальные фактически возможные ускорения основания для объектов массового и ответственного строительства представлены раздельно. Для них определены коэффициент надежности по нагрузке 3,5 и составляющие его коэффициенты. Это позволяет выполнять расчеты на сейсмические воздействия в двух вариантах, предусмотренных СНиП РФ с использованием в первом варианте условной нагрузки на здания и сооружения, во втором варианте — с использованием воздействий, превышающих условную нагрузку. При этом учитываются два разных предельных состояния здания и сооружения, характеризующих общую устойчивость здания и сооружения, безопасность находящихся в них людей, незагрязненность окружающей среды, реализуемость возможности эксплуатации здания и сооружения с ограниченными или временными перерывами.

На рис. 3.2 данные об объемлющих максимальные амплитуды ускорений табл. 3.4 представлены в графическом виде. Дискретные пиковые значения ускорения получены при $M = 6,5$, $h = 25 \text{ км}$, $r = 0 \text{ км}$; левый склон соответствует линейному убыванию пиковой колебательной амплитуды с ростом частоты в столообразной части спектра ускорения колебаний до частоты

$$f_2 = f_{aj} \sigma_{aj} \quad (3.6)$$

Левый склон до периода 0,375 с в ускорениях MSS и 0,3 с в ускорениях OSS отвечает тем же M и h при возрастании r , однако отдельные отрезки объемлющих совпадают с данными при $M = 4,5$, $h = 3 \text{ км}$, $r = 0 \text{ км}$ и $M = 5,5$, $h = 10 \text{ км}$, $r > 0 \text{ км}$. Поскольку при одинаковых максимальных ускорениях сейсмические воздействия более опасны с большей продолжительностью, то в табл. 3.4 приведена эффективная длительность колебаний при землетрясениях с соответствующей большей M . Все эти опасные землетрясения относятся к местным зонам ВОЗ в пределах Терско-Сунженской сейсмоактивной зоны на глубине до 23 км и в пределах Грозненской сейсмоактивной зоны на глубине 25 км. И только низкочастотные участки объемлющих соответствуют землетрясениям с $M = 7,0$, $h = 25 \text{ км}$, $r = 65 \text{ км}$ и более с источниками в узловой зоне ВОЗ Главного надвига.

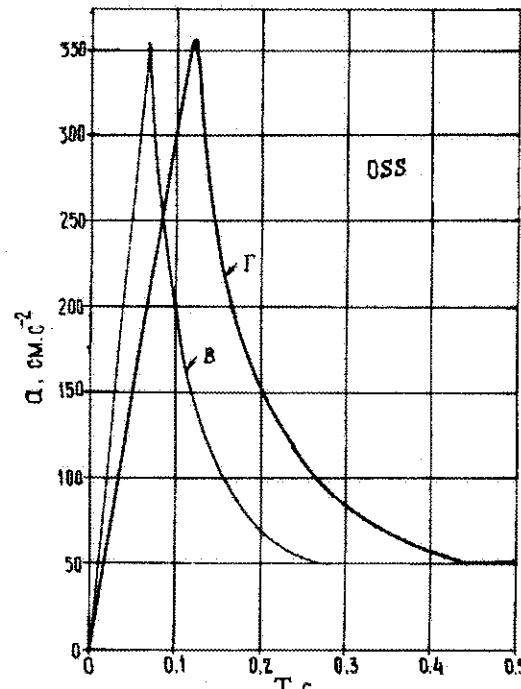
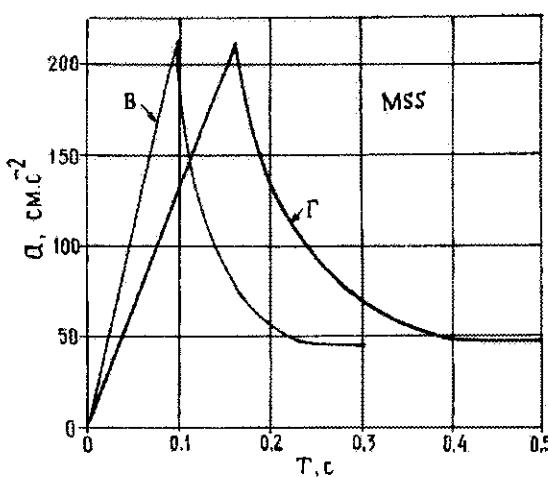


Рис. 3.2. Объемлющие максимальные горизонтальные (Г) и вертикальные (В) амплитуды ускорений колебания отложений грунта в г. Грозный при уровне обеспеченности 0,5 — MSS и 0,07 — OSS

Горизонтальные и вертикальные прогнозируемые ускорения являются наибольшими из числа максимальных и:

- при уровне обеспеченности значений ускорений (соответствующих значений А) 0,5, определяют сейсмические нагрузки на объекты массового строительства, и на уровне обеспеченности значений ускорений 0,07, определяют сейсмические нагрузки на объекты ответственного строительства;
- ускорения значительно меняются в зависимости от периода колебаний, при одинаковой вероятности превышения прогнозируемых значений они соответствуют разным стандартным значениям сейсмической интенсивности при разных коэффициентах надежности по сейсмической нагрузке;
- только в узком интервале периода колебаний от 0,07 до 0,17 с горизонтальные воздействия OSS и от 0,15 до 0,17 с MSS относятся к восьмibalльным при разных коэффициентах надежности по сейсмической нагрузке; на периодах > 0,4 с воздействия OSS и на периодах > 0,45 с воздействия MSS относятся лишь к 6 баллам и менее.

Чтобы получить аналогичные сейсмические воздействия во всех грунтово-геологических условиях на территории г. Грозного достаточно трансформировать объемлющие исходных сейсмических воздействий с помощью спектральных характеристик грунтовых толщ, отнесенных к спектральной характеристике эталонной грунтовой толщи. Эффективная длительность колебаний и их повторяемость на конкретном периоде остаются неизменными. Ниже приводятся результаты таких расчетов.

3.5. Расчеты сейсмических параметров грунтов, выделенных на схематической карте сейсмического микрорайонирования

Для расчета количественных характеристик сейсмических воздействий для типичных грунтово-геологических условий на территории г. Грозного использовался подход, предложенный в ИФЗ РАН (М.Н.Салганик, В.В.Штейнберг) и дополненный разработками ПНИИС (В.Н.Аверьянова, И.Г.Миндель). Для получения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) типичных геологических разрезов и приращения балльности по отношению АЧХ изучаемого разреза к эталонному использовался матричный метод расчета многослойных сред с горизонтальными границами раздела (программа расчета разработана в ИФЗ РАН Л.И.Ратниковой, М.В.Сакс). В качестве параметров расчетных разрезов для типичных условий принимались полученные по данным сейсмозондирований скорости продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн в слоях, мощности слоев, а также средние значения их плотности по данным лабораторных и полевых опытов, значения декрементов поглощения продольных (D_p) и поперечных (D_s) волн заимствованы из литературных и фондовых источников.

В качестве эталонного разреза для оценки приращений балльности на изучаемых разрезах приняты плотные гравийно-галечниковые отложения с глубоким залеганием грунтовых вод (I категория по сейсмическим свойствам, разрез № 13), которому приписана 7-балльная сейсмичность (на 1 балл меньше, чем на грунтах II категории). В качестве эталонного разреза при оценке ускорений и других количественных характеристик сейсмических воздействий принят разрез № 12, с.ст. «Грозный». Параметры расчетных разрезов приведены в таблице 3.1. По результатам расчетов на всех разрезах, за исключением тех, где мощность суглинков была менее 2–5 м, приращения балльности на периодах 0,1–0,3 с составляли около +1 балла (для разреза № 10 с мощностью суглинков 40 м, залегающих на неогеновых глинах, приращения балльности в +1 балл приходятся на диапазон периодов 0,3–0,7 с).

Значения ускорений колебаний для участков с типовыми разрезами получены путем умножения ускорений колебаний в функции периода эталонного грунта (на сейсмической станции «Грозный») на отношение АЧХ изучаемого и эталонного разрезов: $a(T)_w \times U(T)/U(T)_w$, где $a(T)_w$ – объемлющая максимальные ускорения колебаний эталонного грунта (разреза), $U(T)$ и $U(T)_w$ – соответственно АЧХ изучаемого и эталонного разреза, вычисленные по упомянутой выше программе. Значения $a(T)_w$ – исходные сейсмические воздействия, полученные в пункте расположения с.ст. «Грозный» (табл. 3.4.).

Прогнозируемые ускорения в функции периода для шести обобщенных типов разрезов, полученные для горизонтальных колебаний при вероятности превышения максимального ускорения, равного 0,5 (на объекты массового строительства с обеспеченностью 0,5) приведены в таблице 3.5.

Приведенные в таблице данные о фактических возможных ускорениях 6 типов разрезов можно использовать при расчете зданий и сооружений на сейсмические воздействия по спектральному методу в предположении упругого деформирования конструкций.

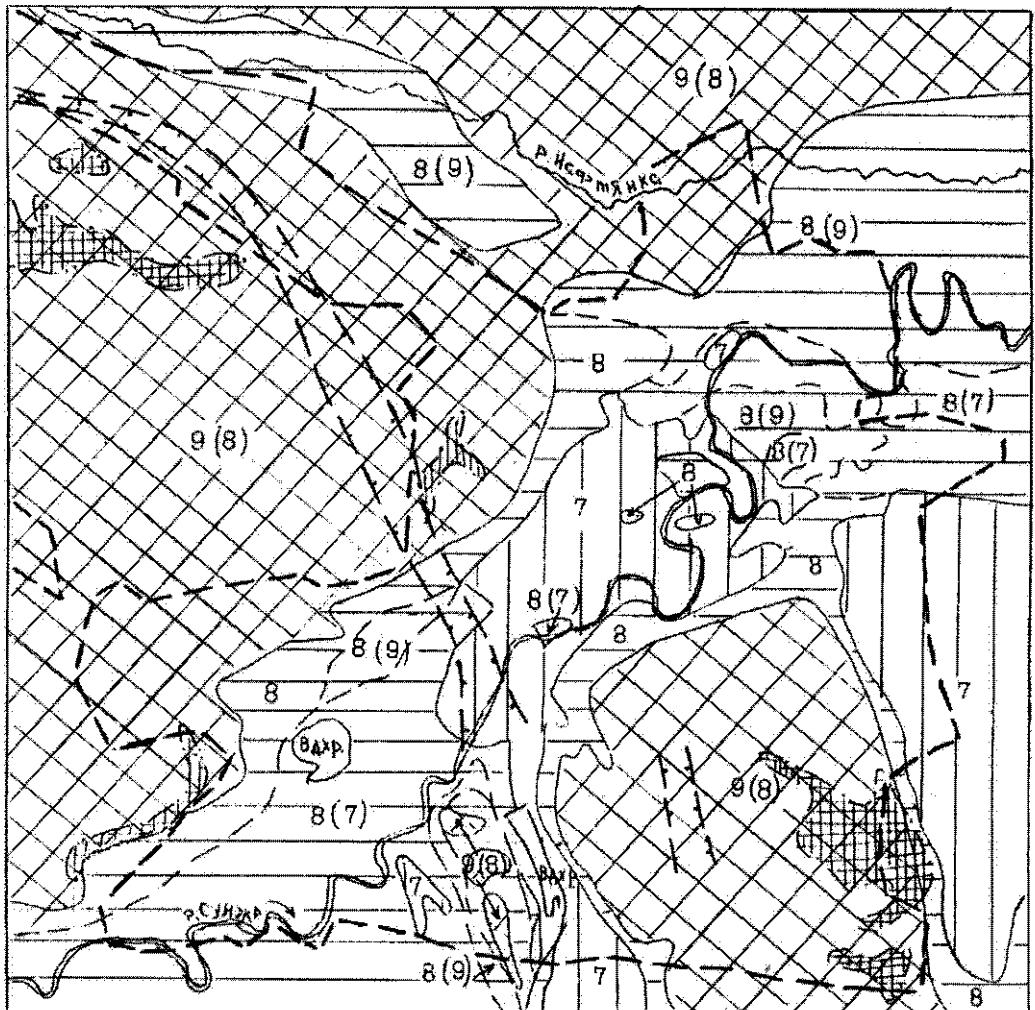
Таблица 3.5.

Максимальные ускорения горизонтальных колебаний в функции периода на участках с типовыми геологическими разрезами на территории г. Грозный (для объектов массового строительства с обеспеченностью 0,5)

T, с	Ускорения a в $\text{см}/\text{с}^2$ на участках с типовыми разрезами в зонах различной сейсмичности по карте сейсмического микрорайонирования					
	Тип 1, зона 7 баллов	Тип 2, зоны 7 и 7(8) баллов	Тип 3, зоны 8 и 8(9) баллов	Тип 4, зона 9(8) баллов	Тип 5, зона 9(8) баллов	Тип 6, зона 9(8) баллов
0,050	57	65	50	45	25	25
0,100	92	130	53	97	90	94
0,125	119	165	194	162	136	150
0,150	145	195	250	238	184	214
0,166	145	210	252	250	210	210
0,175	135	175	254	265	220	178
0,200	107	135	178	200	223	126
0,225	90	110	142	163	164	99
0,250	80	95	129	138	158	83
0,275	73	85	105	125	146	84
0,300	62	70	84	100	124	77
0,325	58	65	76	90	111	86
0,350	50	55	64	74	94	85
0,375	47	50	58	65	80	92
0,400	46	50	57	63	76	109
0,425	45	50	56	62	73	121
0,450	44	45	50	55	63	120
0,475	44	45	49	54	61	120
0,500	44	45	48	53	61	75
0,600	44	45	48	53	61	93
0,700	44	45	47	52	60	75
0,800	44	45	47	51	59	65
0,900	44	45	47	51	59	59
1,000	44	45	47	51	59	55

На основании данных о максимальных ускорениях на доминантных периодах из таблицы 3.4 и данных о длительности колебаний на периодах от 0,15 с до 0,20 с (соответственно от 10 с до 12 с) были интегрированы акселерограммы для типичных случаев на территории г. Грозный и по ним рассчитаны коэффициенты динамичности $\beta(T)$ и спектры реакции одномассового осциллятора при затухании 5% от критического. Для выделенных на схематической карте сейсмического микрорайонирования масштаба 1:10000 зон (рис. 3.3) с различной сейсмичностью и различными типами геологических разрезов графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ и соответствующие им спектры реакции приведены на рис. 3.4–3.6.

Отметим, что величины максимальных ускорений на доминантных периодах даже для разрезов с мощностью суглинков и супесей до 30–40 м практически не превышают 8-балльные. Зоны с сейсмичностью 9 и 9 (8) баллов выделены на карте сейсмического микрорайонирования по причине высокого положения уровня грунтовых вод в суглинках и супесях или возможного обводнения этих просадочных грунтов. Для предотвращения нелинейных деформаций в таких грунтах (просадка и дополнительная вибропросадка при землетрясениях) требуется проведение предпостроечной инженерной подготовки площадок строительства или проектирование таких конструкций фундаментов, при которых деформации в просадочных грунтах не повлияют на устойчивость зданий.



- 1 2 3 4 5 6 7 8

Рис. 3.3. СХЕМА ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНОГО
(Составлена на основе схематической карты сейсмического микрорайонирования территории г. Грозного
масштаба 1:10000, ИМП «Стройнадзор», НИИИС, КавТИСИЗпроект, 1995)

Условные обозначения: 1 — зона с сейсмичностью 7 баллов, приуроченная к участкам развития гравийно-галечниковых отложений с мощностью покровных суглинков менее 2 м (тип разреза 1) и до 2–5 (тип разреза 2); 2 — зона с сейсмичностью 8 баллов, приуроченная к участкам развития суглинков мощностью 2–5 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений при $h_{\text{тол}} < 5$ м (разрез типа 2), при опирании фундаментов на гравийно-галечниковые грунты принимается 7-балльная сейсмичность, на схеме обозначена индексом 8(7); зона с сейсмичностью 8 баллов, приуроченная к участкам развития супесей и суглинков мощностью 5–10 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений, при $h_{\text{тол}} > 5$ м (разрез типа 3), обозначена на схеме индексом 8; зона с сейсмичностью 9 баллов, приуроченная к участкам развития суглинков и супесей мощностью 5–10 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений при $h_{\text{тол}} < 5$ м (разрез типа 3), для сохранения 8-балльной сейсмичности требуется проектирование инженерных или конструктивных мероприятий по предотвращению остаточных деформаций в глинистых грунтах, на схеме обозначена индексом 8(9); 3 — зона с сейсмичностью 9 баллов, приуроченная к участкам развития суглинков и супесей мощностью 10–15 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений (разрез типа 4), при $h_{\text{тол}} > 5$ м проведение мероприятий по предотвращению подтопления и техногенного замачивания просадочных грунтов позволяет принять 8-балльную сейсмичность, при $h_{\text{тол}} < 5$ м проведение инженерных или конструктивных мероприятий по предотвращению остаточных деформаций в водонасыщенных грунтах также позволяет принять 8-балльную сейсмичность (разрез типа 4), к этой же зоне относятся участки развития просадочных супесей и суглинков мощностью 16–30 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений (разрез типа 5), и мощностью 30–40 м, подстилаемых неогеновыми глинами (разрез типа 6), при проведении инженерных или конструктивных мероприятий по предотвращению техногенного замачивания и подтопления просадочных грунтов принимается 8-балльная сейсмичность, на схеме обозначены индексом 9(8); 4 — границы участков с различной сейсмичностью; 5 — границы участков с прогнозной сейсмичностью (значения прогнозной сейсмичности указаны в скобках); 6 — фрагменты Бенойско-Эльдаровской геоструктурной зоны; 7 — участки с крутизной склонов более 15°; 8 — граница территории восстановления г. Грозного.



Рис. 3.4. Графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ для:
 1- участков распространения гравийно-галечниковой толщи (разрез типа 1), $\alpha_{max}=145 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $T_{max}=0,15 \text{ с}$;
 2- участков с мощностью суглинков до 2-5 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях
 (разрез типа 2), $\alpha_{max}=212 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $T_{max}=0,16 \text{ с}$.
 Зоны 7 баллов на рис. 3.3

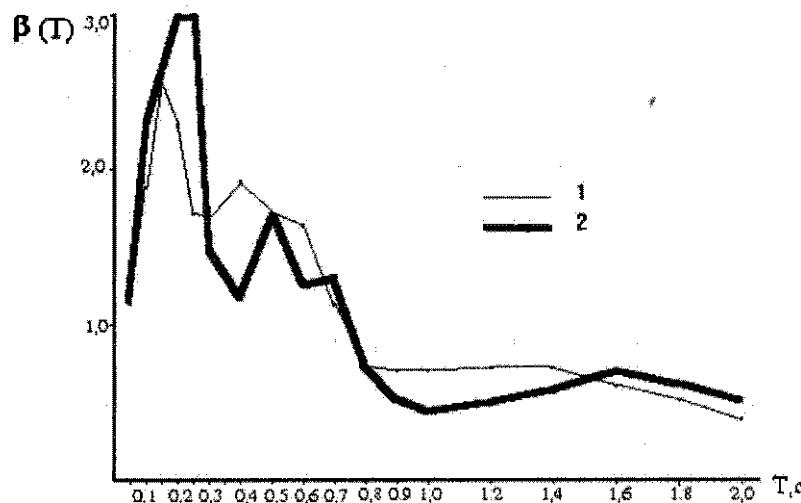


Рис. 3.5. Графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ для:
 1- участков с мощностью суглинков 5-10 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях (разрез типа 3),
 $\alpha_{max}=254 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $T_{max}=0,18 \text{ с}$, при $h_{up}>5 \text{ м}$ зона 8 баллов, при $h_{up}<5 \text{ м}$ зона 8(9) баллов на рис. 3.3;
 2- участков с мощностью суглинков 10-15 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях (разрез типа 4),
 при h_{up} большие и меньше 5 м $\alpha_{max}=262 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $T_{max}=0,19 \text{ с}$.
 Зоны 9(8) баллов на рис. 3.3

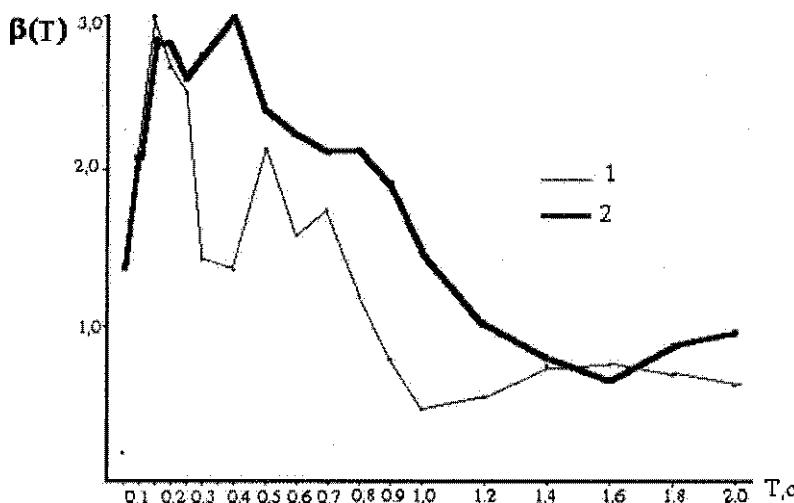


Рис. 3.6. Графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ для:
1 — участков с мощностью суглинков 16–30 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях (разрез типа 5),
 $a_{max}=223 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $T_{max}=0,20 \text{ с}$;
2 — участков с мощностью суглинков 30–40 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях (разрез типа 6),
 $a_{max}=212 \text{ см}^2/\text{с}^2$, $T_{max}=0,16 \text{ с}$ при $T < 0,25 \text{ с}$ и $a_{max}=121 \text{ м}^2/\text{с}^2$, $T_{max}=0,425 \text{ с}$ при $T > 0,26 \text{ с}$.
Зоны 9(8) баллов на рис. 3.3

3.6. Схематическая карта сейсмического микрорайонирования

На основании комплексной интерпретации сведений об инженерно-геологических условиях территории и результатов, полученных при инструментальных наблюдениях, а также применения расчетных методов на схематической карте сейсмического микрорайонирования выделены зоны сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов. В пределах указанных зон выделены участки, различающиеся по спектральным характеристикам.

Для каждой выделенной зоны помимо основного значения сейсмичности дано прогнозное значение, отвечающее либо улучшенным инженерно-сейсмическим условиям при проектировании мероприятий по инженерной защите застраиваемых территорий, технической мелиорации грунтов, выборе соответствующих проектных решений фундаментов зданий и сооружений и т.п., либо ухудшенным условиям за счет влияния природных и техногенных факторов (подтопления, неравномерных просадок грунтов и т.п.) без применения эффективных мер инженерной защиты. При этом учитывались следующие факторы, определяющие величину приращения балльности в пределах выделяемых зон и участков:

- соотношение сейсмических жесткостей в покровной и подстилающей толще;
- мощность рыхлых покровных отложений;
- положение УГВ на момент исследований;
- положение УГВ, прогнозируемое на период до 2005 года;
- категория грунтов по сейсмическим свойствам по СНиП П-7-81.

Для большей части территории г. Грозного принято, что расчетная толща при оценке приращения балльности по методу сейсмических жесткостей имеет двухслойное строение: низкоскоростные лессовые суглинки и супеси различной мощности, залегающие на гравийно-галечниковых отложениях.

По мощности покровных лессовых отложений выделены следующие интервалы (в м): < 2; 2–5; 5–10; 10–15; > 15.

Особо выделен тип разреза, представленный лессовыми грунтами мощностью до 30–40 м, залегающими на коренных неогеновых глинах.

В зависимости от положения УГВ (в том числе и прогнозируемого), выделено два значимых в сейсмическом отношении интервала: < 5 м и > 5 м.

По совокупности перечисленных выше критериев каждому участку на карте присвоен индекс от 1 до 6, отвечающий типу спектральной характеристики разреза (на рис.3.3 эти индексы для простоты опущены).

Участки с ухудшенными сейсмическими условиями в 8-балльной зоне – 8(9) выделены на основании высокого положения УГВ на период исследований, либо прогнозируемого обводнения просадочной толщи в процессе застройки или хозяйственного освоения.

На карте выделены участки с преобладающей крутизной склонов $> 15^\circ$. В соответствии с требованиями нормативно-методических документов по сейсмическому микрорайонированию такие участки считаются неблагоприятными в сейсмическом отношении, при необходимости строительства на таких площадках требуется проведение инженерных мероприятий по укреплению склонов, их террасированию и т.д.

Выделенные на карте на основании морфометрического анализа элементы тектоники, а также зоны развития тектонических разрывных нарушений типа надвигов и взбросов могут представлять повышенную опасность при местных землетрясениях, что следует учитывать при проектировании ответственных строительных объектов, разработке генплана города и т.п. В пределах выделенного на схематической карте фрагмента Бенойско-Эльдаровской разрывной зоны наиболее вероятно проявление смещений и других сейсмодеформаций. В пределах выделенной зоны не следует размещать нового строительства, а существующие здания и сооружения требуют первоочередной наспортизации и в ряде случаев усиления сейсмостойких конструкций. Для уточнения строения и режима разломной зоны следует провести специальные геофизические исследования.

В качестве иллюстрации к схематической карте сейсмического микрорайонирования масштаба 1:10000, которую невозможно воспроизвести в настоящей книге, на рис. 3.3 приведена схема инженерно-сейсмических условий территории г. Грозного, составленная на основе этой схематической карты, но с опущением ряда деталей.

Схематическая карта сейсмического микрорайонирования предназначена для оценки сейсмической опасности при проектировании жилищно-гражданского, промышленного и других видов строительства и восстановления на территории г. Грозного и его ближайших окрестностей. Карта должна быть использована при разработке генплана и проекта нового строительства и восстановления жилых районов, а также частично при разработке проектов детальной планировки г. Грозного.

При проектировании нового строительства, восстановления и реконструкции объектов жизнеобеспечения, а также особо ответственных промышленных объектов, необходимо проведение дополнительных работ по уточнению сейсмичности площадок строительства с учетом специальных требований к обеспечению сейсмической безопасности и нормального функционирования.

При расположении объектов строительства или восстановления на границе (или в непосредственной близости) участков с различной сейсмичностью, следует принимать худшее значение сейсмических параметров, либо предусматривать проведение работ по уточнению сейсмичности площадок строительства, согласно СНиП 1.02.07-87 (п. 3.222).

Для предотвращения нелинейных деформаций при сейсмических воздействиях в случае большой мощности просадочной толщи, требуется проведение предпостроечной инженерной подготовки грунтов оснований зданий и сооружений, либо выбор конструктивных решений фундаментов, исключающих возникновение подобных деформаций.

Часть III. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА, УЯЗВИМОСТИ И УЩЕРБА

1. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Первые работы, посвященные проблеме сейсмического риска, появились за рубежом в конце 60-х – начале 70-х годов нашего столетия. Результаты этих исследований были обобщены в книге «Сейсмический риск и инженерные решения» Р.В.Унтменом и С.А.Корнеллом [1]. В СССР тео-

ретических исследованиях, иссвященных оценке сейсмического риска, появился практический одновременно с первыми сейсмическими работами. Прежде всего это относится к серии публикаций И.И.Кеяни-Борока с соавторами, выполненных в 70-80-х годах. В одной из первых работ этой серии [2] было сформулировано определение сейсмического риска, как вероятностного ущерба от землетрясений на рассматриваемой территории в течение заданного интервала времени. В этих исследованиях проблема оценки сейсмического риска последовательно разрабатывалась с позиций математической статистики. Несмотря на важное теоретическое значение, практического выхода в область карттирования риска эти работы, к сожалению, не имели. Важные результаты по анализу экономико-геологических последствий Спитакского землетрясения 1988 г. были опубликованы Г.А.Коффом [3]. Эта работа явилась обобщением многочисленных материалов по анализу ущерба, нанесенного зданиям различным типом, в зависимости от «сейсмологических условий», которые были ранжированы по степени близости рассматриваемого участка к активным (сущесв. альянам) тектоническим разломам. В этой работе впервые в нашей стране была предпринята попытка использования для этих целей геоинформационной системы.

Важные методические открытия работы по проблеме опасности и риска от природных и техногенных геологических процессов были опубликованы А.Л.Рагозиным [4-6]. В них непосредственно рассмотрены вопросы карттирования риска и ранжирования его уровня.

В 1993 г., впервые в нашей стране ГНЦ НИСом были выполнены достаточные масштабные работы по картированию сейсмического риска для приморских городов [Дагестан] [7]. Таким образом, в настоящее время уже выложен определенный теоретический и практический опыт, позволяющий нам попытать комплексную оценку сейсмического риска для территории г. Еревана.

1.1. Основные положения методики оценки сейсмического риска

Эффективное решение проблемы обеспечения сейсмической безопасности земельной территории города, населенного пункта может базироваться с одной стороны на прогнозе параметров ожидаемых сейсмических воздействий (интенсивность и повторяемость землетрясений, систернальные характеристики сейсмических колебаний и т.д.), с другой — на оценке сейсмической уязвимости зданий, сооружений и людей, находящихся на изучаемой территории.

Для этой цели была использована с некоторыми дополнениями концепция карттирования риска от опасных природных и техногенных процессов [4, 5]. Ранее этот подход был реализован нами при разработке карт сейсмического риска для гг. Махачкала, Дербент, Каспийск и др. Поскольку понятия сейсмического риска, опасности, ущерба, уязвимости и т.д. в настоящее время не имеют и вспомогательного в научной литературе, необходимо дать некоторые пояснения.

В данной работе под сейсмическим риском понимается вероятностная мера сейсмической опасности и соответствующего ущерба ти прогнозируемых землетрясений для определенного объекта (губерната) в определенный временной промежуток.

Таким образом, понятие сейсмического риска связано как с возможностью возникновения на определенной территории землетрясения, так и с наличием на ней зданий, сооружений, наследия, которыми в результате землетрясения может быть нанесен ущерб. Сейсмическая опасность определяется возможной интенсивностью и повторяемостью прогнозируемых сейсмических воздействий на объект риска. Ущерб же, относительно к зданиям и сооружениям в данном случае принимается как затраты на долное их восстановление после землетрясений. Это определение относится только к прямому экономическому ущербу и не учитывает косвенный (потери от повреждений коммуникаций, убыток от остановки производства, выплаты компенсаций и т.д.).

В случае, если под объектом риска рассматривается человек (субъект), используется понятие индивидуального сейсмического риска, т.е. вероятность гибели от землетрясения в течение определенного времени (работающего) в данной точке исследуемой территории. При этом предполагается, что гибель людей происходит вследствие повреждения или разрушения зданий, в которых они находятся во время землетрясения. Индивидуальный риск, в отличие от экономических, мы относим к категории социального риска. Конечно, социальные потери от землетрясений не измеряются только гибелью людей. К этой категории ущерба можно отнести качество жизни, получивших травмы, психологические стрессы, нарушение привычного ритма жизни и т.д. В данном случае мы можем для оценки наиболее «тяжелый» параметр — количество погибших.

Величина экономического и социального ущербов тесно связана с реакцией зданий и сооружений на сейсмическое воздействие, т.е. с их сейсмической уязвимостью. В дальнейшем будем различать экономическую и социальную сейсмическую уязвимость.

Первая определяется как отношение стоимости восстановления зданий и сооружений, подвергшихся сейсмическому воздействию к их полной стоимости до землетрясения. Вторая определяет долю погибших по отношению к населению на данной территории. Очевидно, что величина той и другой сейсмических уязвимостей напрямую связана с интенсивностью землетрясения и сейсмостойкостью зданий и сооружений.

Оценка сейсмической уязвимости основывается на раскрытии содержания сейсмического балла через принятую в СССР (России) 12-балльную сейсмическую шкалу MSK-64 [8], в которую были добавлены экспертные оценки реакции зданий и сооружений с антисейсмическим усилением на землетрясения различной интенсивности, эти оценки были выполнены В.А.Кирковым и С.А.Чигриным (ЦНИИСК). Согласно сделанному дополнению сейсмической шкалы все зданий были разбиты на семь категорий (от А до Ж) по степени их сейсмостойкости:

- А – здания с глиняобитыми стенами, стены из кирпича-сырца или разного камня на глиняном растворе без деревянного каркаса;
- Б – здания без антисейсмических мероприятий: из глиняного обожженного кирпича или камней правильной формы на растворе марки 10 и ниже; здания по пункту А, усиленные деревянным рискосным каркасом;
- В – здания без антисейсмических мероприятий: деревянные щитовые, каркасные с пиловыми заполнением; здания с несущими стенами из кирпича или камней правильной формы на растворе марки около 25;
- Г – крупноблочные и каркасные здания, имеющие неподные антисейсмические усиления: деревянные рубленые дома;
- Д – крупнозанервные здания, спроектированные на 7 баллов;
- Е, Ж – здания, спроектированные на 8 и 9 баллов соответственно;

Таким образом, за счет сейсмостойких зданий число категорий по сравнению со шкалой MSK-64 было несколько увеличено.

Связь между средним экономическим ущербом (C_s), под которым подразумеваются затраты, необходимые для восстановления здания до исходного состояния, выраженные в тысячах единицы от его стоимости, и коэффициентом повреждаемости (K_d), установленная на основании имеющихся данных макросейсмического обследования последствий сильных землетрясений и последующих восстановительных работ.

Ожидаемые коэффициенты повреждаемости для зданий различных категорий в зависимости от интенсивности землетрясения (в баллах) приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Ожидаемые коэффициенты повреждаемости (K_d) для зданий различных категорий в зависимости от интенсивности землетрясения (в баллах)

Категория здания	Интенсивность (I, баллы)				
	6	7	8	9	10
А	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0
Б	1.5	2.5	3.5	4.5	5.0
В	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Г	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
Д	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Е		1.0	1.5	2.5	3.5
Ж	–	0.5	1.0	2.0	3.0

Далее, также на основании экспертных оценок (имеющихся в настоящее время статистика повреждений недостаточна для получения надежных корреляционных зависимостей) установленная связь между коэффициентом повреждаемости (K_d) и сейсмической уязвимостью (U_s). Из данного выше определения экономической сейсмической уязвимости формально следует, что $0 \leq U_s \leq 1$. Однако, мы трактуем понятие уязвимости несколько шире, включая в нее и способность ликвидации

неизвестных после землетрясения зданий и сооружений. Поэтому, при высоких значенных коэффициентах повреждаемости ($K_o > 4$) $U_o > 1$.

В таблице 1.2 дана связь между уязвимостью (U_o) и коэффициентом повреждаемости K_o .

Таблица 1.2.

Связь между уязвимостью (U_o) и коэффициентом повреждаемости K_o

K_o	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$U_o, \%$	2	6	15	30	45	60	80	100	120	120

Для определения экономического ущерба $Y(I)$ от землетрясения интенсивностью I баллов для зданий различных категорий использовалась формула

$$Y(I) = \sum_i N(i) \cdot U_o(i) \cdot E(i), \quad (2)$$

где $N(i)$ — количество зданий категории i ($i = 1, 2, \dots, 7$); $E(i)$ — средняя стоимость зданий i -й категории.

Рассмотрим теперь способ определения социальной уязвимости.

На основании анализа связи между числом погибших в степенью сейсмической повреждаемости зданий (K_o) предложена приближенная оценка числа возможных жертв в процентах от числа находящихся в зданиях людей, т.е. оценка величины социальной уязвимости, которая приведена в табл. 1.3.

Таблица 1.3.

Ориентировочная зависимость доли погибших (в %) при землетрясении от коэффициента повреждаемости (K_o)

K_o	1	2	3	4	5
$С, \%$	9	63	16	80	150

Число жертв $I(I)$ можно определить, определив процент жертв или социальную уязвимость $C(k, I)$ при землетрясении балльности I в зданиях категории k на основании связи между $C(k, I)$ и коэффициентом повреждаемости K_o , также установленной на основании экспертизы оценок². Для более реалистичной оценки числа возможных жертв при землетрясении вводится так называемый, фактор занятости $P(H_i)$, имеющий смысл вероятности нахождения человека в зданиях того или иного функционального назначения (жилые, производственные, учебные и т.д.). В простейшем случае фактор занятости можно представить в виде бинарной функции как

$$P(H_i) = (P(H_i)_1, P(H_i)_2),$$

где $P(H_i)_1$ и $P(H_i)_2$ — усредненные вероятности нахождения человека (без различия возраста и рода занятий) соответственно в жилых (индекс 1) или производственных, общественных, образовательных и т.д. (индекс 2) помещениях. С учетом фактора занятости может быть представлена следующая формула для оценки числа жертв или социальной ущерба:

$$I(I) = \sum_i P(H_i) \cdot \sum_k H_i \cdot C(k, I), \quad (3)$$

где H_i — количество людей, размещенных в зданиях типа i . Введенная нами приближенная оценка величины $P(H_i)$ на примере г. Каспийска дала $P(H_1)_1 = 0,6$, $P(H_1)_2 = 0,3$. Эта оценка была

² Взаимосвязь социальной уязвимости зданий и коэффициента повреждаемости K_o в различных зданиях определена в работе [1].

использована при расчетах сейсмического социального ущерба в населенных пунктах юга России, в том числе и г. Грозном, поскольку условия жизни в них приблизительно одинаковы.

1.2. Количествоенная оценка и картирование сейсмического риска

Экономический сейсмический риск

Экономический сейсмический риск определяется как суммарный ущерб (в денежном выражении) от землетрясений различной интенсивности, происходящих на данной территории в единицу времени. При этом минимальная интенсивность сотрясений, еще вызывающая появление ущербов, оценивалась в 6 баллов, а максимальная равнялась максимально возможному сейсмическому эффекту — I_{\max} . Последний определялся по данным сейсмического микрорайонирования. В соответствии с определением может быть предложена следующая формула для оценки экономического сейсмического риска, который будем обозначать символом R_e :

$$R_e = \sum_{I=6}^{I_{\max}} P(I) \cdot U(I) / S,$$

здесь $P(I)$ — вероятность появления хотя бы одного землетрясения интенсивностью в I баллов в течение года. Эта величина численно равна сейсмической сопротивляемости или обратно пропорциональна среднему периоду повторяемости землетрясений определенной интенсивности для данного района. $U(I)$ — ожидаемый ущерб в рублях от землетрясения интенсивностью I баллов, определяемый по формуле (2). S — площадь территории, по которой делается оценка сейсмического риска (бьеты осреднения), выражаемая в зависимости от масштаба карты в тектониках или квадратных километрах.

Индивидуальный сейсмический риск

Для оценки социальных последствий землетрясений, выражющихся прежде всего в числе жертв, используется данное далее понятие индивидуального сейсмического риска, который вводится по аналогии с индивидуальным риском от негативных воздействий опасных природных и техногенных процессов. Сейсмический индивидуальный риск выражается в размерности чел/год. Также, как и в случае экономического сейсмического риска, расчетная формула для индивидуального риска следует из его определения. Обозначим его символом R_i , тогда

$$R_i = \sum_{I=6}^{I_{\max}} P(I) \cdot L(I) / P_n \quad (5)$$

здесь $L(I)$ — социальный ущерб при балльности I , определяемый формулой (3), P_n — плотность населения. $P(I)$ — вероятность землетрясения с балльностью I . Нетрудно видеть, что индивидуальный сейсмический риск реалии не зависит ни от плотности, ни от численности населения, что вполне естественно, т.к. он имеет смысл вероятности поражения человека из совокупности людей, находящихся в зданиях на этой территории в течение 1 года. В целом на величину индивидуального сейсмического риска будет иметь решающее значение степень соответствия сейсмостойкости зданий прогнозируемым сейсмическим воздействиям.

Конкретные значения вероятностей 6–9 балльных сотрясений г. Грозного принимались в соответствии с результатами расчетов сейсмической сопротивляемости при уточнении исходного сейсмического балла.

1.3. Характеристика застройки территории г. Грозного

Территория г. Грозного в пределах городской черты занимает около 29960 га, в том числе селитебная зона составляет 4300 га. В селитебную зону входит территории, занятые жилой застройкой (около 2900 га), участки общественных учреждений как микрорайонного (86 га), так и областного значения (53 га), а также промышленные (360 га) и коммунально-складские (66 га) территории.

Основные промышленные объекты общей площадью около 3500 га и коммунально-складские территории городского значения (480 га) составляют внеселитебную зону.

Перечисленными материалами для построения карты удаленного экономического и индивидуального сейсмических рисков являются данные, характеризующие застройку в этих зонах. К ним относятся материалы, представленные в основном московским институтом «Гипрогор» Минстроя России:

- топоплан и генеральный план г. Грозного в масштабе 1:10000;
- проект детальной планировки центральной части г. Грозного в масштабе 1:2000;
- схемы районирования г. Грозного по секторам и жилым кварталам;
- данные Бюро технической инвентаризации (БТИ) по жилому фонду г. Грозного и балансовой стоимости основных фондов промышленных предприятий и численности их персонала;
- Программа мероприятий по усилению нервоцервикальных строительно-восстановительных работ в Чеченской Республике (проект Минстроя России).

Анализ зданий жилой застройки, проведенный Гипрогором показал, что в г. Грозном преобладают малоэтажные (одно- и двухэтажные) и трех-пятиэтажные дома с несущими стенами из кирпича. Большинство из этих зданий построено в доведенные или последовательные 50-60-е годы в период до проведения специальных работ по сейсмическому микрорайонированию территории города и при их строительстве обычно не проводились какие-либо антисейсмические мероприятия или предположительно имени места неподалеку антисейсмические усиления для наиболее ответственных зданий социальной сферы (детсады, школы, больницы и т.д.) в более позднее время.

Таким образом, в целом значительная часть юрисдикции г. Грозного не были рассчитаны даже на 7 баллов и могут быть отнесены к типам Б-Г по сейсмостойкости.

Начиная с 70-х годов в период введения в действие норм и правил СНиП IIa. 12-62, по которому территория г. Грозного была исключена в зону 7-балльной исходной сейсмичности, в практику жилого строительства города внедряются здания, спроектированные на 7 баллов, а после проведения работ по сейсмическому микрорайонированию территории г. Грозного в 1985 году здания рассчитываются на 8 баллов. Соответственно кирпичные крупнопанельные и кирпично-панельные дома, которыми застраивался г. Грозный в 70-80-е годы, отнесены к типу Д по сейсмостойкости, а более современные крупнопанельные здания – к типу Е.

В общем виде характеристика типов зданий г. Грозного выглядит следующим образом:

- 1 – одноэтажные жилые дома частного сектора с каменными стенами, облицованными снаружи кирпичом (тип А-сейсмостойкости по麟але MSK-64);
- 2 – одно-, двухэтажные, кирпичные жилые дома преимущественно с черепичными крышами (тип Б);
- 3 – 3-5-этажные здания доведенной и последовательной (40-50-е годы) постройки, стены из красного кирпича на известковом растворе без антисейсмических мероприятий, перекрытия в основном деревянные (тип Б);
- 4 – 3-5-этажные жилые здания, построенные в 60-х годах, с кирпичными стенами на цементном растворе без антисейсмических мероприятий, перекрытия в основном железобетонные (типы Б и В);
- 5 – 2-5-этажные общественные здания (больницы, поликлиники, дошкольные учреждения, средние и высшие учебные заведения и т.д.) с кирпичными стенами на цементном растворе преимущественно с железобетонными перекрытиями, частично с антисейсмическими мероприятиями (типы Б и Г);
- 6 – 1-5-этажные промышленные и коммунально-складские здания с кирпичными стенами на цементном растворе преимущественно с железобетонными перекрытиями, частично с антисейсмическими мероприятиями (типы Б, В, и Г);
- 7 – промышленные здания и сооружения различных габаритов с фундаментом из монолитного железобетона, опорные колонны и строительные конструкции металлические или из сборного железобетона, покрытие из сборных железобетонных плит, стены кирпичные, расчетная сейсмостойкость – 7 баллов (тип Д);
- 8 – 5-этажные кирпичные жилые дома серии 67, спроектированные на 7 баллов (тип Д);

¹ типы В и Г – здания деревянной конструкции с каменными или кирпичными стяжами с более качественной кирпичной кладкой основных несущих конструкций, в которых могут присутствовать элементы антисейсмических мероприятий (типы Г).

- 9 - 5-этажные крупнопанельные жилые дома серии 1-464, спроектированные в жесткой конструктивной схеме на 7 баллов (тип Д);
- 10 - 9-12-этажные каркасно-панельные жилые дома серии ИИС-04, спроектированные на 7 баллов, (тип Д);
- 11 - 9-этажные крупнопанельные жилые дома серии 92, спроектированные в жесткой конструктивной схеме на 8 баллов (тип Е).

Анализ данных БТИ по жилому фонду и балансовой стоимости промышленных предприятий г. Грозного проводился по секторам, выделенным для организации строительно-монтажных работ на территории города. Внутри секторов производился неквартальный подсчет общей застроенной площади жилых зданий и вычислялась суммарная стоимость жилого фонда в квадрате 25 га за расчета средней стоимости 1 м² жилых зданий = 220,84 руб. в ценах на декабрь 1991 г. Коэффициенты пересчета из старых (форсированных) цен в новые по данным Енциклопедии составляют $k_1 = 2,5$ и $k_2 = 3541$. Последствием первого коэффициента стокоместности зданий приводится к уровню цен за 31.12.1991 г., а второго – к ценам на 1.01.1995 г.

Кроме того, в единичных квадратах (ячейках осреднения) учитывались удалые части общественных зданий, промышленных и коммунально-складских объектов и соответственно распределение их стоимости.

Таким образом, в основу построения карты экономического сейсмического риска положено значение стоимости всей жилой, общественной, промышленной и коммунально-складской застройки в пределах единичного квадрата площадью 25 га. Для усвоения построения карты в условиях дефицита времени был принят упрощенный вариант расчета, при котором полная стоимость застройки равномерно распределялась по единичному квадрату, затем определялась искомое значение интегральной стоимости зданий разных типов сейсмостойкости на площади в 1 га, которое и привыкалось центру квадрата.

Параллельно определялось среднее количество жителей, проживающих в тех или иных зданиях из расчета в среднем 15 м² обитаемой площади на человека. Подсчет жителей на 1 га территории производился аналогично вышеописанному подсчету стоимости. Дополнительно принималось в расчет среднее число сотрудников учреждений, студентов, школьников и др., живущих в общественных зданиях в единицах время, а также количество работников промышленных предприятий.

В единичную ячейку индивидуального сейсмического риска выдавались коэффициенты капитенности зданий ~ 0,6 и 0,35 ~ для жилых зданий и для зданий промышленной и общественной застройки соответственно.

Распределение жилых, общественных и основных промышленных и коммунальных зданий, а также зданий, из которых их следят по административным районам г. Грозного, представлено в табл. 14.

Как уже отмечалось, на застроенной территории г. Грозного преобладают малоэтажные и 3-5-этажные кирпичные здания с сейсмостойкостью, не рассчитанной выше, чем на 6 баллов. Такими зданиями застроена промышленная зона сейсмобезопасного сектора, называемая центральной, за периферийные части г. Грозного во всем направлении. Однако, если в центре города жилье здания типа Б и В по сейсмостойкости перемежаются с постройками более высокой сейсмостойкости, то ближе к периферии несейсмостойкие здания превалируют, занимая от 80 до 100% территории.

Изолированы составляют северная и восточная части города (Старопромысловский и Ленинский районы), где в новых микрорайонах сосредоточены крупнопанельные здания типа Е, спроектированные на 8 баллов. Отдельные жилые дома подобного типа встречаются как в центре города (Зенинский район), так и в северо-восточной части (Октябрьский район).

Здания типа Д по сейсмостойкости, рассчитанные на сопротивления силой 7 баллов, расположены главным образом в районах, застроенных панелью 70-х – начала 80-х годов (Старопромысловский и Октябрьский районы), а также встречаются в центральной части города в Ленинском районе.

Распределение жилых, общественных и основных промышленных и коммунальных зданий (и землями, на которых они расположены) по административным районам г. Грозного

Административный район	Тип земельной собственности	Балансовая стоимость зданий, млрд. руб. (на 1.01.95 г.)		Количество зданий, тип, час-тиности, занятые в промышленности и социально-общественной сфере, единицы	
		жилая застройка	общественная, коммунальная и промышленная застройка	жилой	рабочий, занятые в промышленности и социально-общественной сфере, единицы
1. Центральный	Б	226,47	0,58	19,3	630
	В	319,42	94,89	27,2	33
	Г	—	222,64	—	19,0
	Д	307,58	15,56	26,2	0,8
	ИТОГО:	853,47	333,71	72,7	830
2. Дзиренко	Б	544,17	44,54	46,3	9,5
	В	226,53	67,11	25,3	3,1
	Г	—	797,71	—	13,8
	Д	332,60	26,27	35,4	1,0
	Е	680,14	—	55,0	—
	ИТОГО:	1753,84	818,13	152,0	33,9
3. Кадариной	Б	985,36	—	39,5	—
	В	588,44	626,47	21,6	7,5
	Г	—	750,21	—	7,2
	Д	385,90	129,40	57	13,1
	ИТОГО:	823,90	1900,51	87,6	28,9
4. Кабардинский	Б	681,44	—	36,1	—
	В	232,09	—	23,9	—
	Г	—	415,67	—	72,0
	Д	364,72	42,57	42,37	0,5
	ИТОГО:	1438,25	458,64	97,4	78,3
	ВСЕГО	4599,26	3241,39	389,4	192,1

Примечание:

¹ Количество жилой строительной застройки и жилых зданий из расчета 1 квадратного метра жилой застройки на 1 квадратный метр земельной собственности.

Границы:

² границы А прилегающие к населенным пунктам количества:

Типы В и Г зданий земель (см. сплошной карту №6).

1.4. Карты сейсмических рисков

1.4.1. Исходные материалы для построения карт

Национальный сейсмический риск территории г. Грозного определяется уровнем сейсмичности земли и индивидуальными сейсмическими рисками. С помощью рассмотренной выше методики оценки обоях видов сейсмического риска были построены схематические карты экономического и индивидуального сейсмических рисков территории г. Грозного в масштабе 1:10000.

Комплекс основных исходных материалов, необходимых для оценки сейсмического риска и построения соответствующих карт, включает:

- линии сечений исходного балла и границы сейсмических зон сейсмогенеза;
- схематическая Карта сейсмического микрорайонирования территории г. Грозного в масштабе 1:10000;
- технико-экономические характеристики жилой, общественной, коммунальной и промышленной застройки г. Грозного.

Анализ имеющихся материалов позволяет принять в качестве основных единиц следующие:

- 1) величина исходного сейсмического балла для средних грунтовых условий г. Грозного — 8 баллов.

- 2) Средние периоды повторяемости землетрясений силой 8 баллов — 497 лет, 7 баллов — 135 лет, 6 баллов — 26 лет, 5 баллов — 15 лет.
- 3) Площади со средними грунтовыми условиями, т.е. с нулевым приращением сейсмического балла (для которых принимаются максимальные значения интенсивности землетрясений 8 баллов), а также площади с приращением балла +1 (9-балльные зоны) и -1 (7-балльные зоны) на застроенной территории г. Грозного распределены в соотношении в табл. 1.3 (см. табл. 1.3).
- 4) Технико-экономические характеристики зонций принесения в табл. 1.4.

Таблица 1.3

Распределение площадей с различной балльностью по г. Грозному

Административные районы	Площади зон с максимальной сейсмичностью (в % от застроенной площади г. г. Грозного)		
	7 баллов	8 баллов	9 баллов
А. Северо-восточный (сектора 8, 10, 12)	0	10	90
Б. Западный (сектора 1-6, 9, 11)	10	80	10
В. Центральный (сектора 5, 9, 11, 20, 29)	25	75	0
Г. Юго-западный (сектора 17, 22, 28)	20	5	75

4.1.2. Схематические карты экономического и социального ущерба

Карты ущельного экономического ущерба отражают распределение экономических потерь на 1 гектар по территории города при прогнозируемых землетрясениях интенсивностью 7 и 8 баллов (из 10 возможных группах).

Экономический ущерб на предлагаемых картах (рис. 1.1, 1.2) выражен в миллионах рублей, которые необходимо учесть на восстановление зданий после землетрясения, интенсивностью 7 и 8 баллов. Приведенные цифры, как отмечалось выше, отражают только прямой экономический ущерб при повреждении зданий и не включают косвенные потери.

В данной работе мы не ставили задачи учета всей совокупности потерь и рассматриваем только ущерб, связанный с восстановлением поврежденных и разрушенных зданий. Карты ущельного ущерба отражают не только распределение этих величин по плоскости города, но и позволяют получить суммарные значения ущерба от землетрясений различной балльности. Выполненные расчеты показали, что суммарный экономический ущерб для г. Грозного при повторении землетрясения составит около 2000 млрд. рублей; при восстановлении землетрясений — 900 млрд. рублей; при семибалльных — 2200 млрд. рублей; при восемьбалльных землетрясениях ущерб увеличивается до 4200 млрд. рублей.

Эти оценки имеют ориентировочный характер и отражают минимальный уровень возможного ущерба.

На рис. 4.3 и 4.4 представлены схематические карты социального ущерба при прогнозируемых землетрясениях интенсивностью 7 и 8 баллов (из 10 «рабочих» группах). В данном случае это количество жителей города, которых могут погубить при повреждении или разрушении зданий во время землетрясения (согласующей интенсивности на 1 гектаре) всейской территории. Максимальные значения этого показателя (до 5 член. на 1 га) определяются в районе Чернышевы, где северо-западная и малосейсмическая застройка попадает на участки с неблагоприятными сейсмическими условиями.

Интегрированная оценка общего числа погибших жителей при прогнозируемых землетрясениях по типам оценоктированным расчетам может состоять: 7 баллов — около 3 тыс. человек; 8 баллов — около 14 тыс. человек.

Проведенные расчеты человеческих потерь основывались на данных обследования последствий уже прошлых землетрясений. Вместе с тем, необходимо отметить, что исходных статистических данных, подводимых свидетельствующими землетрясениями, тип застройки и количество пострадавших в настоящем время явно недостаточно для получения надежных зависимостей. В связи с этим приведенные оценки носят ориентировочный характер и могут изменяться в зависимости от времени суток, времени года, когда произошло землетрясение, качества строительства, работ и других факторов. Приведенные цифры социального ущерба получены исходя из численности населения г. Грозного в 350-400 тыс. жителей.

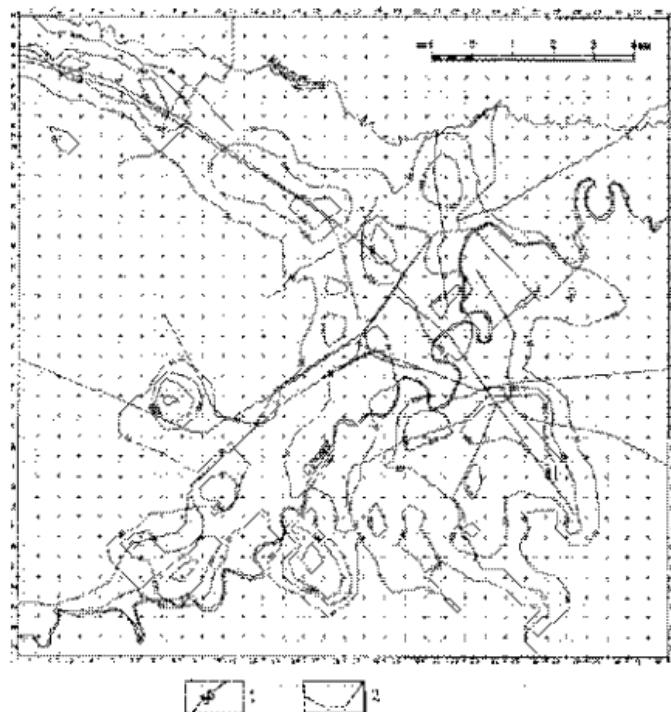


Рис. 1.1. Схематическая карта проектируемого экономического упрядка г. Байдар при 2-базовом варианте: 1 - пакеты газоконденсатного упрядка газоконденсатной залежи и кима рубаной в Байдар-горской территории в гектарах 130,26 га;

2 - пакеты газоконденсатного упрядка газоконденсатной залежи и кима рубаной в Байдар-горской территории в гектарах 130,26 га;

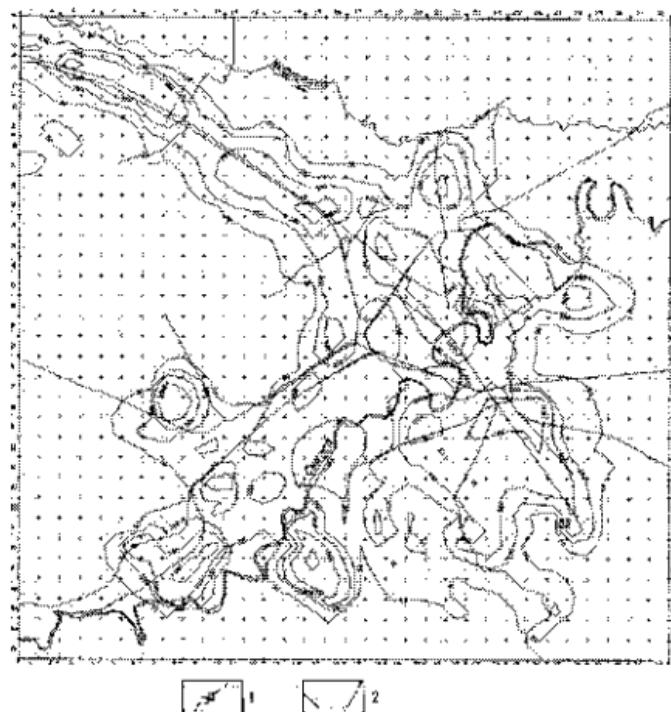


Рис. 1.2. Схематическая карта проектируемого экономического упрядка г. Байдар при 2-базовом варианте: 1 - пакеты газоконденсатной залежи и кима рубаной в Байдар-горской территории в гектарах 130,26 га;

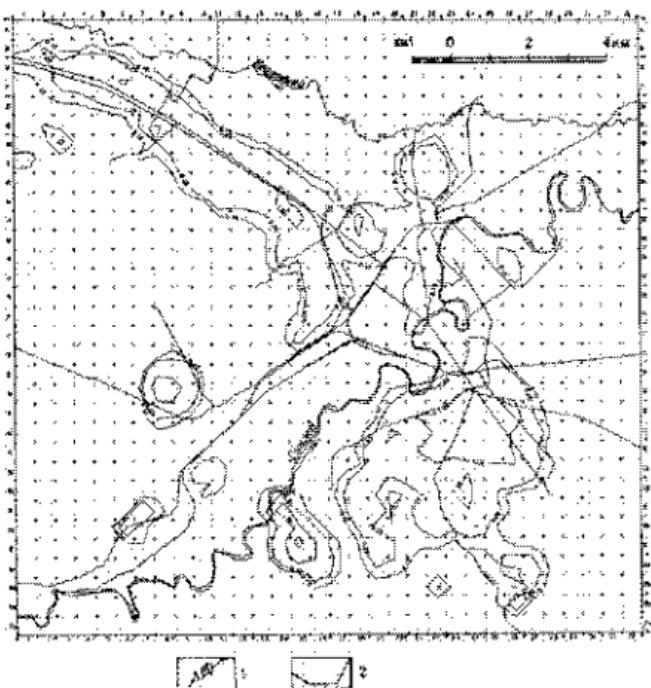


Рис. 1.3. Схематическая карта про-
поселкового индустриального
управления г. Бродно (границы 7-
базового земельного участка).
1 — изолинии производственного и
жилого земельного участка; 2 —
линии основных транспортных
магистралей г. Бродно

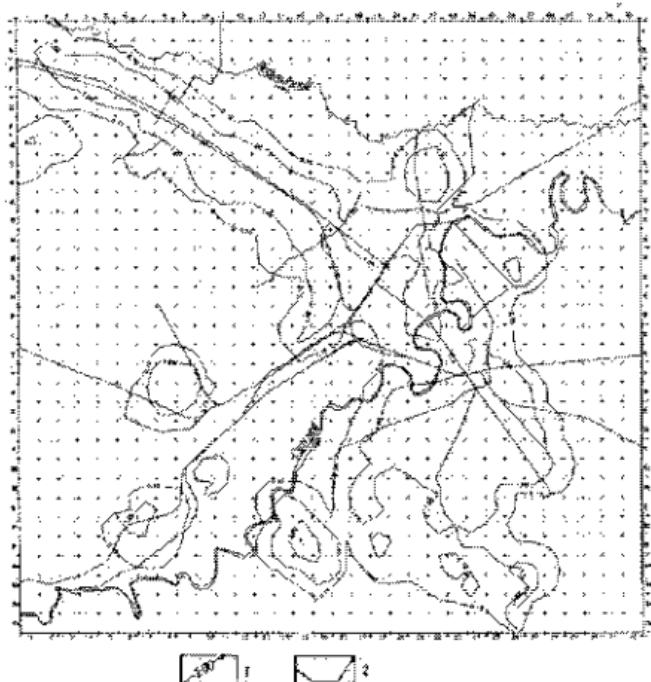


Рис. 1.4. Схематическая карта про-
поселкового индустриального
управления г. Бродно (границы 8-
базового земельного участка (см. рис. 1.3)).

1.4.3. Карта сейсмического экономического риска

Сейсмический экономический риск при построении карты (рис. 1.5) рассчитывается на единицу площади в единицу времени и по существу представляет собой удельный экономический риск, определяемый вероятным ущербом в рублях в течение 1 года на единицу 1 га.

Значения сейсмического экономического риска застроенной территории г. Грозного изменяются в широких пределах:

- 1) малый, небольшой и средний риски (объединенные) — менее 0,05 млн. руб. (в ценах на 01.01.95 г.) на 1 га в 1 год (млн. руб./га·год);
- 2) больший риск — от 0,05 до 1,0 млн. руб./га·год;
- 3) очень большой риск — от 1,0 до 10,0 млн. руб./га·год и
- 4) чрезвычайно большой риск — более 10,0 млн. руб./га·год.

Такие значительные колебания величины экономического риска обусловлены достаточным широким спектром стоимости и сейсмостойкости зданий жилой, общественной, промышленной и коммунальной застройки, неравномерностью расположения в зонах с разной сейсмической близостью.

Распределение зон с различными уровнями риска на карте сейсмического экономического риска выглядит следующим образом.

Зона с малым, небольшим и средним риском охватывает до 10% застроенной площади города, на которой расположены разрозненные малоэтажные строения, преимущественно на окраинах.

Зона с большим экономическим риском составляет не менее 25% территории, охватывая периферийную часть обобщенной застройки города.

Зона с очень большим риском занимает большую, но площади территории (до 50%), составляя основную часть застройки г. Грозного. Эта зона отражает наибольшую тяжесть для города уровень сейсмического экономического риска, лежащий в пределах от 1,0 до 10,0 млн. руб./год/га.

Зона с исключительно-большим риском выражается в виде фрагментарных островных участков, охватывает до 15% территории центральной части застройки практически во всех административных районах города. Наиболее по площади участки с исключительно-большим риском выделяются в Старошемаховском и Октябрьском районах. Они обусловлены преобладанием зданий несейсмостойких зданий (категорий Б·Б), размещенных в неблагоприятной сейсмической зоне с максимальной сейсмической интенсивностью 9 баллов.

Максимальные значения сейсмического экономического риска, достигающие 25 млн. руб./га·год и более, отмечается в районе Черноречья и Андреевской Долины (Октябрьский адм. район), где имеется достаточно плотная малосясмостойкая малоэтажная застройка, расположенная на участках с неблагоприятными сейсмогрунтовыми условиями в зонах с 9-балльной сейсмичностью.

1.4.4. Карта индивидуального сейсмического риска

Величина индивидуального риска (рис. 1.6), подобно экзомическому, зависит от комплекса факторов, в том числе от величины сейсмического балла на участке застройки, повторяемости землетрясений в регионе, уровня сейсмостойкости зданий, а также от средней «заполняемости» этих зданий людьми в течение года.

На карте представлены зоны с разными уровнями индивидуального сейсмического риска: [7-9]:

- 1) малый и небольшой уровень риска — менее $3,3 \times 10^{-7}$ чел./год;
- 2) средний уровень риска — от $3,3 \times 10^{-7}$ чел./год до 10^{-6} чел./год;
- 3) большой уровень риска — от 10^{-6} до 10^{-5} чел./год;
- 4) очень большой уровень риска — более 10^{-5} чел./год.

Зоны с малым, небольшим и средним уровнями индивидуального сейсмического риска составляют не менее 45% застроенной территории. Это прежде всего участки промышленной застройки на левобережье р. Сунжи и участки относительно сейсмостойкой яксымбальской жилой застройки на территориях с благоприятными и средними грунтовыми условиями, где локальная сейсмичность на карте сейсмического микродиагностирования не превышает соответственно 7-8 баллов.

Зоны с большим индивидуальным риском распространены во всех административных районах города и составляют около 35% застроенной территории.

Зоны с очень большим уровнем индивидуального риска не превышают 20% площади застройки города.

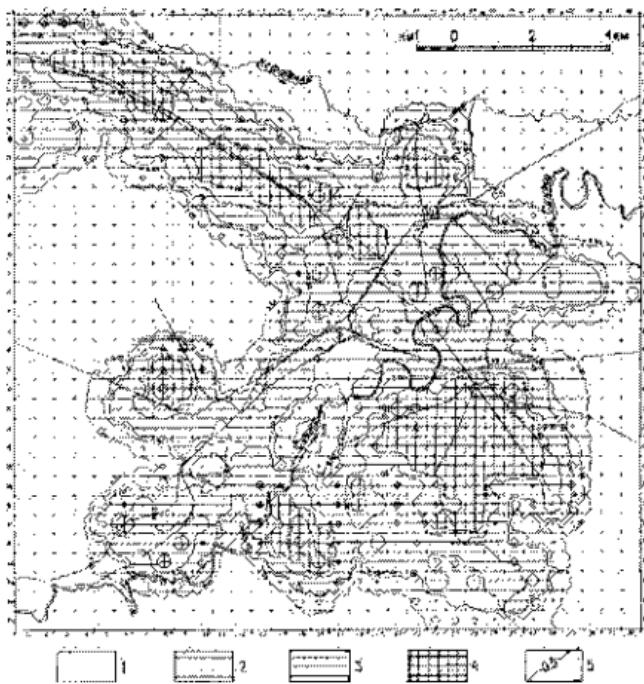


Рис. 1.5. Схематическая карта относительного уровня экономического риска территории республики Башкортостан (уровни 1-4 уровня индивидуального схематического риска (изначальные 01.01.95)):

- 1 — малый, небольшой и средний (абсолютный),
 $R_{abs} < 0.05$ млн.руб./га · год;
- 2 — большой,
 $0.05 < R_{abs} < 1.00$ млн.руб./га · год;
- 3 — очень большой,
 $1.00 < R_{abs} < 10.00$ млн.руб./га · год;
- 4 — катастрофически большой,
 $R_{abs} > 10.00$ млн.руб./га · год;
- 5 — максимальный, катастрофически большой риск в млн. руб. на гектар в год. Экономический схематический риск (R_{ek}) — первоначальный уровень экономического риска в гектарах, поделенный на 1000.

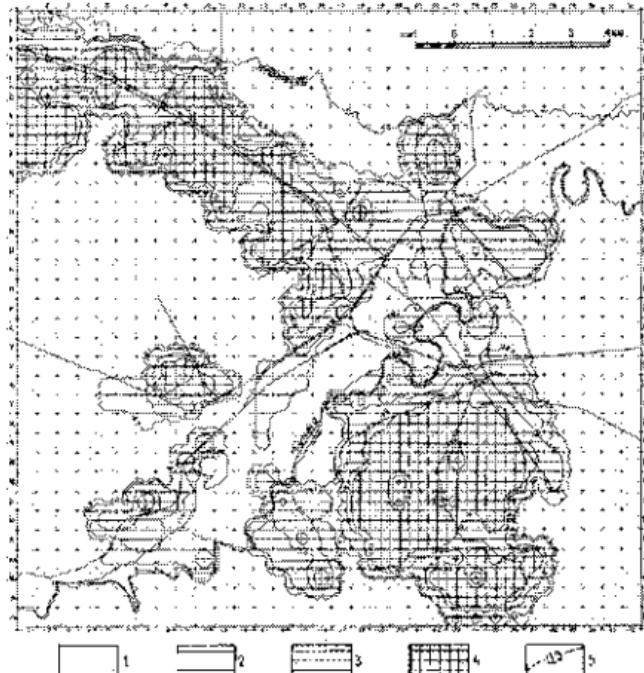


Рис. 1.6. Схематическая карта относительного уровня индивидуального схематического риска территории республики Башкортостан (уровни 1-4 уровня индивидуального схематического риска).

- 1 — малый и небольшой уровень (абсолютный), $0.2-10^{-4}$ чел/га;
- 2 — средний, $3.3-10^{-4}$ чел/га;
- 3 — большой, $10^{-3}-10^{-2}$ чел/га;
- 4 — очень большой,
 $10^{-2}-R_{ek} < 0.1$ чел/га;
- 5 — катастрофически большой и максимальный риск, маркирован на карте, обозначают
0.36, $R_{ek} > 2.5 \cdot 10^{-2}$ чел/га;
1.00, $R_{ek} > 10^{-1}$ чел/га. Инициализация Рейнштейнским риском (R_{R}) — первоначальный уровень из начальных условий в процессах динамики природной среды, гектар, год.

Распределение повышенных (значений) сейсмической индивидуального риска на исследуемой территории в целом отражает особенности распределения жилой застройки в г. Гродно. Наиболее обширные участки с очень большим индивидуальным риском отмечены в Старопромысловском, Заводском в Октябрьском районах. Все эти участки характеризуются сочетанием малосейсмостойкости жилой застройки и деяностойкой сейсмичностью.

Выполненные работы по оценке и картированию экономического и индивидуального сейсмических рисков г. Гродно позволили выявить расположение зон с различным уровнем этих рисков. Следует отметить, что, в целом, основная часть городской застройки находится в зонах с очень большим и исключительно большим сейсмическим экономическим риском. Общая площадь этих зон составляет около 65% застроенной территории города. Участки с исключительно большим сейсмозоэкономическим риском, как правило, характеризуются сложной несейсмостойкой застройкой в сочетании с неблагоприятными грунтовыми условиями, в соответствии с которыми эти участки относятся к 9-балльной зоне.

Использованная методика картирования сейсмического риска, при которой сейсмический риск выражается в унифицированных единицах вероятного суммарного ущерба на единице площади за единицу времени или вероятности гибели отдельного человека за единицу времени, позволяет соотносить между собой показатели сейсмического риска с показателями риска от других опасных природных и техногенных процессов (оползни, просадки грунтов, наводнения и т.д.). В частности, при известных значениях «коэффициентов» таких рисков легко может быть определена величина суммарного риска от их совместного геодинамических процессов.

Что касается индивидуального сейсмического риска, то он в пределах города изменяется от малого и небольшого уровня (свыше 3.3×10^{-4} чел/сек) до очень большого уровня – более 10^{-1} чел/сек. В целом, интервал изменения величины индивидуального сейсмического риска более узок, чем для сейсмозоэкономического риска, т.к. в данном случае отсутствует зона с исключительно большим риском.

В целом, построенные карты сейсмического риска г. Гродно дают насыщенное представление об адекватности застройки различных частей города различным сейсмическим условиям территории, как в экономическом, так и социальном аспектах и могут быть использованы для обоснования решений по планированию новой и реконструкции старой застройки. На этой информационной основе может быть разработана система программы целенаправленного снижения сейсмического риска до приемлемого уровня и повышения сейсмической безопасности города.

2. ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ С УЧЕТОМ ВОЕННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО УШЕРБА ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ ОТ ПРОГНОЗНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

На территории Гродно имеются несколько типов жилой застройки. Это – дома различных строительных генераций, с различной сейсмостойкостью и конструктивными особенностями. Охарактеризуем эти типы жилой застройки.

- 1 – однотажные кирпичные жилые дома с черепичными крышами без антисейсмических усилив (шильд по шкале MSK-64).
- 2 – гаражи с каменными стенами облицованными снаружи кирпичом (тип А).
- 3 – 3-5-этажные здания дореволюционной, дореволюционной и послевоенной застройки. Стены из кирпича на известковом растворе, перекрытия деревянные, без антисейсмических усилив (тип Б).
- 4 – 3-5-этажные здания 60-х годов застройки с кирпичными стенами на цементном растворе и железобетонными перекрытиями без антисейсмических усилив (тип Б).
- 5 – сейсмостойкие 5-этажные кирпичные дома серии 67 (КиевЭНИИЭП). Расчетная сейсмичность 7 баллов.
- 6 – 5-этажные крупнопанельные жилые дома серии 1-464 в жесткой конструктивной схеме.
- 7 – 9-этажные крупнопанельные в жесткой конструктивной схеме серии 92 (ШНИИЭПжилстр). Сейсмостойкость – 7 баллов.

- 8 – каркасно-панельные 9–13-этажные жилые дома с рамно-связевой системой серии ИИС-84 (железобетонные рамы из Н-образных элементов), стены несущие керамзитобетонные или кирпичные с покрытием из плит на выпусках перекрытий (Гранитофлекимпроект). Расчетная сейсмичность – 7 баллов. По опыту Сибирского гидрометрекания здания нуждаются в тщательном анализе проектных решений.
- 9 – крупноблочные 9–13-этажные жилые дома, возведенны грузинскими строителями после землетрясения 1975 г. Сейсмостойкость – 7 баллов.
- 10 – 9-этажные кирпичные дома с монолитным железобетонным каркасом («Гранитпрогрессстрой»). Расчетная сейсмичность – 7 баллов.
- 11 – многоэтажные (4–10 этажей) каркасно-панельные здания с конструкциями серии ИИС-04 (Тагиев-ЗИИЭС). Расчетная сейсмичность – 7 баллов.
- 12 – здания повышенной этажности с железобетонным каркасом «сочинского» типа из линейных элементов с омоноличенными узлами. Расчетная сейсмичность – 7 баллов.

Таким образом, в пределах городской территории выделяются различные застройки, распределенные по 167 структурно-функциональным зонам – выделам, характеризующимся срavnительно однородной застройкой. Карты с границами выделов и их подрайонной характеристики издаются в архивах Института литосферы и Межгидротеха. Под структурно-функциональной зоной мы понимаем выделенный на первом уровне организации городской среды [9] комплекс городских зданий, соответствующий локализованной архитектурно-планировочной системе. Этому уровню соответствует доказанный уровень организации геологической среды города – инженерно-геологический массив или сопоставимость массивов.

В качестве критерия для выделения границ выделов – структурно-функциональных зон (или в дальнейшем просто выделов) принимались следующие:

- 1) пространственная локализация застройки с определенным набором и свойствами;
- 2)хождение преимущественной части этой застройки (за исключением отдельных зданий) в одну строительную подростовую генерацию;
- 3) однотипность основной части выделенной застройки по этажности;
- 4) относительная однотипность конструктивных решений и сейсмостойкости зданий, составляющих эту застройку.

На большей части городской территории распространена малоэтажная застройка. Сейсмостойкость жилых домов с несущими стенами из каменной кладки, в основном состоящих из малоэтажную застройку, можно принять не менее 6 баллов, в отдельных случаях (при хорошем качестве кладки) – 7 баллов (это должно быть установлено по результатам сейсмичности наблюдений).

В составе частной малоэтажной застройки выделяются жилые дома с несущими стенами из глинистого обожженного глиняного кирпича (в «полкирпича»). Эти дома сейсмостойкостью не обладают. Саманная застройка, распространяющаяся в южной, центральной части города (северо-западе г. Гурьевского поселка), в южной части города, между ул. Ленина и ул. Мусорова на центральных прилегающих территориях, северо-западнее ул. Оражонкилиде, в составе малоэтажной старой застройки севернее микрорайона Ипподромский, и районе ул. Первомайской и др.

В перечисленных зонах, содержащих значительную часть преобладающую примесь саманных домов, ущерб может быть наибольшим значительным. Саманная застройка относится к типу А по шкале МСК-64 (А₂). Насколько правомерно отнесение к типу А всей одноэтажной застройки и пределах соответствующих «саманных» выделов? Здесь следует указать, что 2 обстоятельства: 1) в сейсмичном, застройка в пределах «саманных» выделов относится к первым строительным генерациям и, следовательно, более землетрясопрочна; 2) разрушение саманной застройки в составе общей малоэтажной застройки со значительной вероятностью может привести к образованию дыролов, перекрывающих проходы и проезды, к возникновению пожаров и т.д., т.е. к увеличению ущерба.

В составе малоэтажной застройки первых генераций содержатся исключением примесь более поздних многоэтажных зданий. Однотипная многоэтажная застройка в составе малоэтажной в основном несет рассеянный характер поэтому в большинстве случаев при территориальных сечениях сейсмостойкость соответствующих выделов можно оценивать по типу наиболее распространенных зданий.

Новая строительная генерация включает малоэтажную застройку, возведенную после 60-х годов (это – здания примерно одинакового качества с несущими стенами из каменной кладки. К новой генерации относятся и так называемая «адмиральская» застройка, реализуемая, как правило, без улиц и соответствующих проектов.

Несколько архивы БТИ города и Чечнгражданпроект были уничтожены пожарами, возникшими при обстреле, общая жилая площадь определялась нами с помощью архивных листов Межрайонного Гипророга, анализа карт города, в т.ч. плановых и перспективных фотографий, подготовленных нами в апреле 1995 г. Величины R_i были приведены по укрупненным показателям стоимости для Грозного (из отчетов Московского Гипророга).

R_i – относительный ущерб для всех зданий i-го типа:

$$R_i = \sum K_i \cdot N_{i,d}$$

где

d – степень повреждения здания по шкале MSK, $d = 0; 1; 2; 3; 4; 5$;

K_i – ущерб для зданий со степенью повреждения в долях от первоначальной стоимости;

$N_{i,d}$ – число зданий со степенью поврежденностии d в долях от общего числа зданий i-й группы;

$K_i \cdot N_{i,d}$ – относительный ущерб для зданий i-й группы со степенью повреждения d .

Значения относительного экономического ущерба R_i определялись нами [10]. Сейсмичность отдельных структурно-функциональных зон устанавливалась по «Схеме сейсмического микрорайонирования».

В результате обобщения классификации зданий выделялись основные типы: А₂ (саманные), Б_{1,2} – кирпичные малоэтажные и кирпичные многоэтажные без сейсмического усиления, 7_{1,2} – кирпичные с сейсмическим усилением и крупноблочные, 7_{3,4} – крупноганельные серии 1-464, 8_{1,2} – крупноганельные 92 серии. Поскольку каркасно-панельные здания и другие типы зданий, в основном, не располагаются кучно на более или менее обширных площадях, а присутствуют в качестве примеси к преобладающей застройке другого типа, при определении оценок нами принимались значения относительного ущерба для преобладающего типа. Тем не менее наличие в застройке зданий каркасно-панельных серий должно учитываться как фактор дополнительного ущерба.

Как видно из прилагаемой схемы (рис. 2.1), территории с наибольшим возможным ущербом располагаются на крайнем северо-западе (Старопромысловский район, зона распространения монинских лесовых пород), севере, а также в южной части города.

Схема дефицита сейсмостойкости¹¹, построенная по различиям между сейсмичностью участков и расчетной сейсмостойкостью зданий, в целом, как и следовало ожидать, повторяет соответствующие контуры Схемы удельного ущерба, но более отчетливо выявляет те районы, где имеется определенный запас сейсмостойкости: это современные микрорайоны на востоке города, ряд участков центра. Наиболее обширным дефицитом сейсмостойкости характеризуется ряд территорий северо-запада, севера (в меньшей части) и юга. Наличие схем потенциального ущерба и дефицита сейсмостойкости позволит более рационально составить новый генплан города, проекты застройки и дальнейшей планировки, более надежно разместить проектируемые ответственные сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для территории г. Грозного в сжатые сроки был выполнен комплекс взаимоувязанных исследований, позволивший получить наиболее полную информацию не только о сейсмической опасности, но и дать дифференциированную оценку экономических и социальных последствий возможных землетрясений. В результате этих работ была уточнена величина исходного сейсмического балла г. Грозного, которая составила 8 баллов со средней повторяемостью 450–500 лет. Для шести- и семибалльных землетрясений средние периоды повторяемости составили соответственно 25 и 130–140 лет.

С учетом этих результатов разработана карта сейсмического микрорайонирования в масштабе 1:10000 для всей территории города, на карте выделены участки с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов, даны прогнозные оценки изменения сейсмических условий за счет техногенного воздействия на инженерно-геологическую среду. Для всех участков даны специальные характеристики проекти-

¹¹ Схема нарисована Институтом геофизики.

тируемых сейсмической воздействий с учётом строения геологического разреза, сейсмических свойств грунтов и т.д.

На основе новых данных о сейсмической опасности, анализа сейсмостойкости существующей застройки и её экономических характеристик авторами выполнена оценка возможных экономических и социальных последствий прогнозируемых землетрясений. С использованием ориентированных методик построены карты сейсмического риска, даны количественные оценки сейсмической уязвимости застройки, против ущербов и т.д. Результаты выполненных исследований использованы при корректировке генплана города и проектировании восстановительных работ.

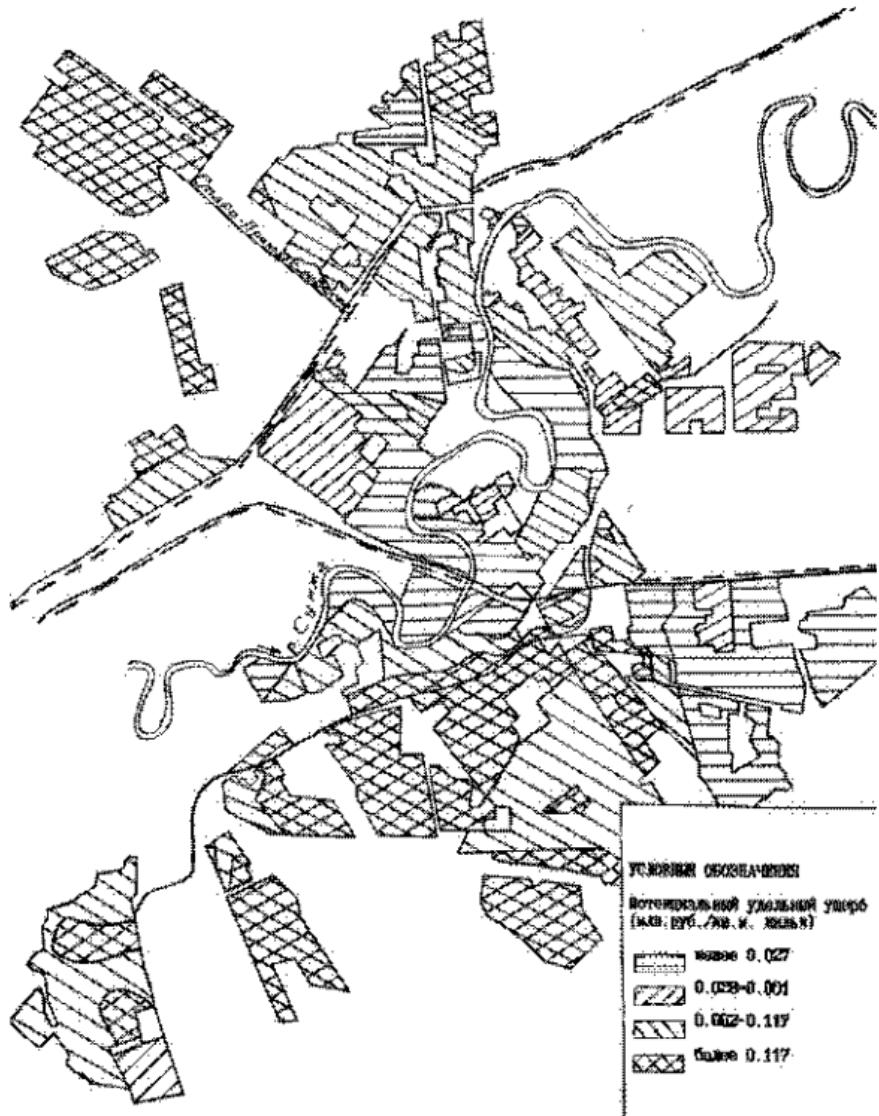


Рис. 2. Схема карты возможного ущерба землетрясения в г. Тerekhovka с прогнозируемым ущербом (масштаб 1:50000) (авторы: Г.В. Кондратов, А.А. Амелин, М.В. Каратынин)

ЛИТЕРАТУРА

Часть I

Раздел I.1

1. Миладовский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа -- М.: Недра, 1968.
2. Додуев С.И. О покровном строении Большого Кавказа // Тектоника. 1986, № 3.
3. Дусанова Л.В. Некоторые черты неотектонической структуры Большого Кавказа // Бюлл. КИЧИ. 1982, № 52, с. 29-41.
4. Костенко Н.И. Развитие складчатых и разрывных деформаций в орогенном регионе // М.: Недра, 1972.
5. Несмеянов С.А. Количественная оценка новейших движений и неотектоническое районирование горной области. М.: Недра, 1971.
6. Чедия О.К. Морфоструктура и новейший тектонес Тянь-Шаня -- Фрунзе: Илим, 1986.
7. Несмеянов С.А. Неотектоническое районирование Северо-Западного Кавказа -- М.: Недра, 1992.
8. Несмеянов С.А., Веенкова О.А. Новые данные о типах наиболее мощных новейших структур Восточного Дагестана // Доклады РАН, 1994, т. 338, № 3, с. 365-367.
9. Додуев С.И. Мезо-кайнозойская геодинамика Большого Кавказа // Геодинамика Кавказа -- М.: Наука, 1989, с. 82-92.
10. Сейсмическое районирование в Северной Монголии -- М.: Наука, 1980.
11. Несмеянов С.А., Веенкова О.А., Быков В.А. и др. Типы новейших структур Урала // Бюлл. МОНН, отдел геологии. 1993, т. 68, к. 1.
12. Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа -- М.: Наука, 1991.
13. Мирзарев Д.А., Нарифутдинов Ф.Г. Геодинамика месторождений нефти и газа Дагестана -- Махачкала: Даг. гос. изд. по, 1966, с. 312.
14. Брох И.О., Польстер Л.Д., Несмеянов Д.В. Геоструктурное районирование и перспективы перегруппировки Предкавказья // Брил. журн. Геология нефти и газа. 1958, № 8, с. 31-63.
15. Соборовин К.О. Подвиживающие зоны нефтегазонакопления -- новый объект поисков нефти и газа Предгорного Дагестана // Геология нефти и газа. 1988, № 2, с. 8-12.
16. Юров Ю.Л. Строение земной коры из Кавказа и изостазии // Сб. геол. 1963, № 9.
17. Якунина А.Ф., Синицын Н.А., Чистяков А.Д. Методика и некоторые результаты структурно-геоморфологических исследований в Восточном Предкавказье и Северо-Западном Прикаспии // Структурно-геоморфологические исследования в Прикаспии (Сб.мат. КЮГЭ, в. 7) -- М.: Гостехиздат, 1962.
18. Буньков М.С. Развитие структурных форм Терско-Сунженской области // Тр. КЮГЭ, в. 6 -- М.: Гостехиздат, 1961, с. 7-103.
19. Крымов В.И. О некоторых особенностях структурного соотношения третичных и меловальных отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области // Изв. ВУЗ. Нефть и газ. 1960, № 11, с. 19-23.
20. Жемеричко М.И. Генезис складчатых движений Передовых хребтов Предкавказья // Изв. ВУЗ. Геол. и разн., 1964, № 5.
21. Шелченко В.И. История развития и механизм формирования геоструктурных дислокаций на территории Осетии (Центральный Кавказ) -- Автореф. канд. дисс. -- МГУ, 1964.
22. Баннина Л.В. Формирование структур центральной части Терско-Каспийского передового прогиба (Терско-Сунженская нефтегазоносная область) // Тектоника и формации Большого Кавказа -- М.: Наука, 1988, с. 58-77.
23. Смирнова М.Н., Бряжкин В.М. Проблемы глубинной тектоники Терско-Каспийского краевого прогиба // Тектоника и формации Большого Кавказа -- М.: Наука, 1988, с. 78-96.
24. Короповский Н.В., Кожеников А.В., Напов Д.И. и др. История атмогенного развития и формирование структуры центральной части Терско-Каспийского передового прогиба // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа -- М.: Наука, 1987, с. 147-174.
25. Станулин В.А., Хлудев В.Ф. Некоторые проблемные вопросы геологии и нефтеносности Терско-Сунженской района (Северный Кавказ. Терско-Каспийский краевой прогиб) // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа -- М.: Наука, 1987, с. 246-254.

26. Жемчугенко М.И. Об обрашении палеогеоморф-геодинамики в Чечено-Ингушетии// Изв. ВУЗ. Геодезия и разведка. 1981, № 86, с. 23-27.

27. Смирнова М.Н. О внутреннем строении донжонного осадочного Терско-Каспийского прогиба// Изв. ВУЗ. Геология и разведка. 1974, № 3, с. 10-18.

28. Смирнова М.Н., Стадник Н.А., Яковлева Т.В. Рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ и новые данные о глубинном строении Терско-Сунженского прогиба// Геологический Год. Грозненский рабочий. 1967, с. 42.

29. Бражин В.М. О методике геологической интерпретации гравиметрических данных при изучении глубинного строения Дагестанского края// Сейсмичность и гидроакустическая герметизацию Дагестана, в. 2. - Махачкала: Изд. во Даг. ФАН СССР, 1978, с. 195-200.

30. Талалеев В.Ф., Бражин В.М., Чувакин В.В., Гаджиев С.Г. О соотношении докрекового осадочного и палеопрековых комплексов осадочного чехла Терско-Каспийского прогиба// Геология и нефтегазоносность Северо-Восточного Кавказа (Тр. СепКазНИИнефть, вып. 41) -- Грозный, 1984, с. 66-70.

31. Короновский И.В., Гущин А.Н., Никитин М.Ю. и др. Геологическое развитие и становление современной структуры Терско-Каспийского передового прогиба// Тектоника органических сооружений Кавказа и Средней Азии. - М: Наука, 1990, с. 4-35.

32. Касьянова И.А. Формы проявления неоконтактного в Восточном Црдланкхане. - М: Недра, 1993.

33. Никитин М.Ю., Белакон Г.А. Речные террасы р. Терек и неоконтактника северного склона Терского хребта// Бюлл. МОИИ, отдел геологии, 1991, г. 69, в. 5, с. 34-45.

34. Кожевников А.В. Террасы р. Сулак в предгорьях Кавказа// Вопросы региональной геологии СССР. - М: Изд-во МГУ, 1964, с. 126-134.

35. Кожевников А.В., Никитин М.Ю. Антиклиналь долину реки Сулака на северном Кавказе// Бюлл. МОИИ, отдел геологии, 1977, г. 52, в. 3, с. 26-44.

36. Никитин М.Ю. Речные террасы и волнистая тектоника Горного Дагестана (бассейн р. Сулака) // Бюлл. МОИИ, отдел геологии, 1979, г. 54, в. 5, с. 88-104.

37. Шагаев И.С. Геологическое строение восточной части Черных гор и нефтяные месторождения Минчины и Даши (Северный Дагестан) // Тр. Гос. нефтехим. ин-та. в. 4, 1928.

38. Варганов С.Ц., Корнеев В.А. Новые данные о геологическом строении Северного Каспия// ДАН СССР, г. 136, № 5, 1961.

39. Цагарели А.Э. Четвертичная тектоника Грузии// XXII сессия МГК, доклады сов. геологов. Проблема II) - М: Недра, 1964.

40. Растиброва В.А., Цербикова Е.М. Издигитие Центрального Кавказа за поздне- и последениковое время// Современные динамичные земной коры. № 1. - М: Изд-во АН СССР, 1963.

41. Махаровский О.В. О строении Главного хребта Абхазии по геофизическим данным// ИАН СССР, сер. геол., 1981, № 10, с. 71-73.

42. Ращупкин Д.М. Тектонические условия формирования антиклинальной структуры Большого Кавказа// Геология и геодинамика Северного Кавказа. - М: Наука, 1987, с. 69-96.

43. Шевченко В.Н. Проявления структур горизонтального сжатия в складчатом строении (на примере Большого Кавказа) // М: Наука, 1981, с. 160.

44. Вахдани Е.К. Тектоника нефтеносных районов Раяи и Южной Осетии// Бюлл. Грузиофти, № 1(1) -- Тбилиси, 1949.

45. Нахадзе Е.К. Геологическое строение Лечхумии// Тр. Груз. политехн. ин-та им. Кирова, № 3 (64), 1936.

46. Гамкрелидзе И.И. Строение северного крыла Рачинско-Лечхумской синклиниали. Автореф. канд. дисс. ГИИ АН Груз. ССР. -- Тбилиси, 1963.

47. Ренгарден В.П. Тектоника Большого Кавказа// Геология СССР, т. X, ч. 1, 1941.

48. Вассютин И.В. Краткий геологический очерк Джакского района Юго-Осетии// Ироновогорельевые силы Юго-Осетии, сб. II, Труды СОИС вуз. АН СССР, сер. Закавказская, в. 4, 1932.

49. Гамкрелидзе И.Д., Гамкрелидзе И.И. Тектонические погоры южной склона Большого Кавказа (в пределах Грузии) -- Тбилиси: Меганереба, 1977, с. 82.

50. Мисурчук Ю.Н. Каинсийский вулканит Энбресской вулканической области // Тр. ИГЕМ, 1961, в. 51.

51. Ренгарден В.П. Геологический очерк Военно-Грузинской дороги // Тр. ВДРО, 1932, в. 6.

- Алтикаев Ф.Б., Ибрагимов Р.Н., Кнауф В.И. и др. Методические рекомендации по детальному сейсмическому районированию. Проект // Вопросы инженерной сейсмологии, 1986, в. 27, с. 184-212.
- Несмиянов С.А. Геодегнические соображения о типах очагов коровых землетрясений // Вопросы инженерной сейсмологии, 1984, в. 25, с. 107-119.
- Бархатов И.И., Несмиянов С.А., Шмидт Г.А. Геодегнические материалы для выделения сейсмогенерирующих структур Северо-Западного Кавказа и смежных областей // Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа - М.: Наука, 1991, с. 44-80.
- Короновский И.В., Кожевников А.В., Панов Д.И. и др. История геологического развития и формирование структуры центральной части Терско-Каспийского передового прогиба // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987, с. 147-173.
- Вишневский Д.Е., Нанина Л.В. Надтектонические аспекты формирования верхнегорских карбонатных и магнитовых толщ Терско-Каспийского прогиба // Геология и подземные цикопиевые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987, с. 175-190.
- Короновский И.В., Гущин А.И., Никитин М.Ю. и др. Геологическое развитие и становление современной структуры Терско-Каспийского передового прогиба // Тектоника брекчийных сооружений Кавказа и Средней Азии. М.: Наука, 1990, с. 4-35.
- Боячукин Б.М., Габсатарова И.И., Захарова А.Н. и др. Землетрясение 3.08.1989 на Северном Кавказе // Землетрясения в СССР в 1989 г. М.: Наука, с. 32-44.
- Краснолевцева Г.В. Ступенчатое строение Кавказского гейсмово-тибинского района // М.: Наука, 1984, с. 108.
- Гадзалаев В.Д., Бражник В.М., Чуприк В.В., Даждев С.Г. О соотношении доюрского основания и вышележащих комплексов осадочного чехла Терско-Каспийского прогиба // Геология и нефтетензивность Северо-Восточного Кавказа. Тр. СевКавНИИнефть. Вып. 41, Грозный, 1984, с. 66-70.
- Плютин В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Структурность Большого Кавказа. М.: Наука, 1993, с. 192.
- Позинцев А.Г. О ступенчатом выражении Главного Кавказского нахета // Геотектоника, 1978, № 6, с. 57-65.
- Редикоров И.А., Шевченко В.И. Строение и история развития Кавказского сектора Средиземноморского пояса. Современные тектонические концепции // Тектоника Средиземноморского пояса. М.: Наука, 1980, с. 180-189.
- Собирнова К.Ю. Формирование складчато-надвиговой структуры Дагестанского клина // Геотектоника, 1993, № 3, с. 31-46.
- Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, с. 483.
- О инверсионной сети СССР - М.: Недра, 1979, с. 140.
- Сидоров В.А., Атанаасян С.В., Байдасарова М.В. и др. Современные движущие земной коры и нефтегазоносность (на примере Терско-Каспийского передового прогиба) - М.: Наука, 1987, с. 116.
- Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов - М., 1989, с. 183.

Разделы 2-4

- Абасов Е.Г., Антонов В.В., Габсатарова В.Л. и др. Землетрясения 4 марта на Северном Кавказе. Сб. Землетрясения в СССР в 1984 г. с. 35-44.
- Аглаларова Е.Б., Гасанов А.Г., Гедакян Э.Р. и др. Землетрясения Кавказа. Сб. Землетрясения в СССР в 1985 г. с. 60-75.
- Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. М.: МИР, 1983, т. 1 и 2.
- Ананьев И.В. Аргунское землетрясение 2 марта 1966 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1966 г., с. 35-43.
- Ананьев И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука, 1977.

6. Аптикаев Ф.Ф., Ибрагимов Р.И., Кнауф В.И. и др. Методические рекомендации по детальному сейсмическому районированию. (Проект). Вопросы инженерной сейсмологии. 1986, к. 27, с. 184-212.
7. Арефьев С.С., Асманов О.А., Дейнека А.Г. и др. Количественные характеристики сейсменности Дагестана. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. М.: Наука, 1980. с. 10-16.
8. Арефьев С.С., Шабалин Н.Н. Оценка уровня скученности (характеристики) землетрясений Кавказа. Докл. АН СССР. 1988. т. 298, № 6. с. 1349-1352.
9. Арефьев С.С. О картировании основных гипераметров сейсмического режима. Вопросы инженерной сейсмологии. 1989, в. 30, с. 4-14.
10. Артемьев М.Е. Карта аномалий силы тяжести. М.: 1972. Масштаб 1: 2500000. Матрица карты хранится в Б/Д лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
11. Асманов О.А., Идормачев Н.Г., Левкович Р.А. Чиркейское землетрясение 8 июня 1972 г. Вестник сети сейсмических станций Кавказа. Январь-июнь 1973 г. «Метинерго», Тбилиси. 1974 г. с. 295-208.
12. Асманов О.А., Арефьев С.С., Идормачев Н.Г. и др. Беинское землетрясение 5 августа 1974 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1975 г. с. 31-35.
13. Асманов О.А., Арефьев С.С., Киселев С.А. и др. Чиркейское землетрясение 13 ноября 1974 г. в Дагестане. Сб. Землетрясения в СССР в 1975 г. с. 36-42.
14. Асманов О.А., Арефьев С.С., Идормачев Н.Г. и др. Салгатское землетрясение 23 декабря 1974 г. в Дагестане. Сб. Землетрясения в СССР в 1975 г. с. 43-52.
15. Балакина Л.М., Захарова А.И., Морозова А.Г., Чепкина Л.С. Исследование механизмов очагов сильных коротких землетрясений Северной Евразии: 1927-1991 г. Сейсмичность и сейсмических районирования Северной Евразии. М.: 1993. Вып. 1.
16. Болдакий Б.М., Габсатарова И.И., Захарова А.И. и др. Землетрясение 3.08.1989 г. на Северном Кавказе. Сб. Землетрясения в СССР в 1989 г. с. 32-44.
17. Борисов А.А., Лыагина Н.Н. Карта глубинных аномалий силы тяжести. М.: ВНИИГеофизика. 1973. Масштаб 1: 1000000. Матрица карты хранится в Б/Д лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
18. Буар В.И., Нодакова Т.П. Уточнение данных о магнитудах землетрясений Кавказа за 1931-1940 гг. Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР. М.: ОИФЗ АН СССР, 1974. с. 104-123.
19. Бюллетень МОИИ. Серия почдания 1977 г. г. 52, вып. 4. с. 78-84.
20. Габсатарова И.И., Захарова А.И., Старовойт О.Е. и др. Каталог Ренинского землетрясения 29 апреля 1991 г. и его афтершоков (по данным региональных сейсмических станций). Обнинск. 1992 г. (Препринт).
21. Габсатарова И.И., Захарова А.И., Старовойт О.Е. Региональный каталог землетрясений Северного Кавказа. ОМО ЕС РАН. г. Обнинск. 1995 г.
22. Гамбургер Г.А. Состояние и перспективы работ в области прогноза землетрясений. Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР. 1955, № 1, с. 7-16.
23. Геотермическая карта Северной Евразии. Отв. ред. Смирнов Я.Б. Масштаб 1: 5000000. М.: ГИИ АН СССР, 1986. Матрица карты хранится в Б/Д лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
24. Грицков Г.Н. Региональная сейсмостойкость территории Юга СССР. Альпийский цикл. М.: Наука, 1984.
25. Гравиметрическая карта СССР (продукция Бузе). Гл. ред. Сажина Г.Б. Масштаб 1: 2000000. М.: Минцел и др. и др. ВНИИГеофизика. 1975. Матрица карты хранится в Б/Д лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
26. Губин И.Е. О детальном сейсмическом районировании. Детальное сейсмическое районирование. - М.: Наука, 1980.
27. Землетрясения в СССР в 1975-1989 гг. (Ежегодные сборники). М.: Наука, 1978-1992.
28. Карта аномалий магнитного поля СССР. Масштаб 1:2000000. М.: 1978. Матрица карты хранится в Б/Д лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
29. Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен до 1990 г. Отв. ред. В.И. Ульяновой и Н.В. Колпаковой. ОИФЗ РАН. версия 1993 г.
30. Красногориной Г.В. Глубинное строение кристаллической мантии юго-западного региона. М.: Наука, 1984. с. 108.

31. Кратоненков Е.В. Карта рельефа поверхности Монголомонгии. М.: ВНИИГеофизика, 1983. Масштаб 1:2500000. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
32. Левкович Е.А., Асманишвили О.Л., Крамблит И.И. и др. Буйнакское землетрясение 9 января 1975 г. Сейсмологический бюллетень Кавказа 1975 г. «Мечникова», Тбилиси, 1976 г., с. 171-192.
33. Лукиев А.И., Чебакасова Е.В. Сейсмический режим южной части Северо-Западного Кавказа. Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. М.: Наука, 1991. с. 81-98.
34. Мильштейн В.В., Смирнова М.Н., Бражник В.М. Землетрясение 1950-1955 гг. в районе нефтяного месторождения Гудермес. Сейсмологический бюллетень Кавказа 1976 г. «Мечникова», Тбилиси, 1979 г., с. 210-222.
35. Материалы по добывающему районированию Северо-Западного Кавказа. — М.: Наука, 1991.
36. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. — М.: Недра, 1968.
37. Несмиянов С.А. Концепция сценария новейших движений и посттектоническое районирование горной области. М.: Недра, 1971.
38. Несмиянов С.А., Ершаков И.И. Новейшие и сейсмогенерирующие структуры Западного Гиссаро-Алая. — М.: Наука, 1978.
39. Несмиянов С.А. Геологические соображения о типах очагов коровых землетрясений. Вопросы инженерной сейсмологии, 1984, в. 25.
40. Несмиянов С.А. Неокрустическое районирование Северо-Западного Кавказа. — М.: Недра, 1992.
41. Никитин М.Ю., Никонов А.А., Болотов С.Н., Беляков Г.А. Палеосейсмодислокации в бассейне р. Ардзин и их значение: для оценки сейсмического потенциала Большого Кавказа. ДАН, 1993, г. 330, № 6, с. 740-744.
42. Никонов А.А. Макроизолинии наблюдаемые сейсмосигналы и прогноз землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. М., 1994, № 3, с. 51-54.
43. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977, с. 535.
44. Напалашини В.Г., Кудлев Ф.Т., Алимирзоев О.Х. Тагергинское землетрясение 26 мая 1978 г. Сейсмологический бюллетень Кавказа 1979 г. Тбилиси, 1982 г., с. 209-214.
45. Напалашини В.Г., Алимирзоев Р.А., Алимирзоев С.Р. и др. Землетрясения Кавказа. Сб. Землетрясения в СССР 1981 г. С. 19-26.
46. Напалашини В.Г., Гоголадзе Т.Н., Иоодзини М.С. и др. Гвардейское землетрясение 23 февраля 1981 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1981 г., с. 26-30.
47. Нетрунинский Б.А. Значение геологических явлений при сейсмическом районировании. — М.: Изв. АН СССР, 1955.
48. Рейнлер Г.И., Иогансон Э.И., Рейнлер М.Г., Баранов Ю.Е. Типология земной коры и современные геодинамические процессы. М.: Институт геофизики Земли РАН, 1993, с. 210.
49. Рязанцева Ю.Н. Об изучении сейсмического режима. Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 9, с. 1057-1074.
50. Рыбакенко Ю.Б., Джубилаев Э.А. Сейсмическая активность и болидные землетрясения Кавказа. Изв. АН СССР. Физика Земли, 1972, № 1, с. 35-49.
51. Сейсмическая опасность территории СССР. М.: Наука, 1979, с. 192.
52. Сейсмическое районирование в Северной Монголии. — М.: Наука, 1980.
53. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980, с. 308.
54. Сейсмичность территории Узбекистана (Сейсмологические зоны). Узловов В.И., Катренко Н.Г., Яковлева И.Б. и др. Ташкент, «Фан», 1990, с. 54.
55. Семёнов В.Н., Андреев Л.И. Карта рельефа поверхности консолидированного фундамента. М.: 1988. Масштаб 1:1000000. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
56. Смирнова М.Н., Руставович Д.Н., Савиц О.А., Аххаб-Маргвеловское землетрясение 17(18) июня 1969 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1969 г., с. 29-32.
57. Смирнова М.Н., Руставович Д.Н., Нотонишвили Н.А. Старорибиненское землетрясение. Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа. Январь-июнь 1973 г. «Мечникова», Тбилиси, 1974 г., с. 105-115.

- Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмоактивных структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Выпуск 1. М., 1992.
- Изобалин Н.В., Крестников В.Н., Руцановская Д.И. и др. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1970 г., с. 28-49.
- Изобалин Н.В. Ощущенные землетрясения на территории СССР. М.: Наука, 1974.
- Condolostkaya N.M., Shebalin N.V. New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times through 1977. 1982.

ЧАСТЬ II

- Аверьянова В.Н. Энергетически-спектральный методоценки сейсмической опасности. М.: Наука, 1985, с. 192.
- Аверьянова В.Н. Подобие землетрясений с очагами в земной коре. Вопр. инженер. сейсмологии. М.: Наука, 1982. Вып. 23, с. 171-197.
- Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976, с. 229.
- Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. М.: МИР, 1983, т. 1 и 2.
- Волновые процессы в конструкциях зданий при сейсмических воздействиях. Отв. ред. д.т.н. В.А. Кривицкий. М.: Наука, 1987, с. 160.
- Герасимов А.Н. Следы трещинной вулканической деятельности близ г. Грозного. Изв. Геол. Комитета, т. XXXIX, с. 3-6.
- Коффр Г.Д., Лобанова Р.М. Изучение разломов при инженерно-геологических исследованиях в сейсмоактивных областях. ИГИ, Варшава, 1991, с. 224.
- Лобанова Р.М. Структурная южность разломных зон. М.: Недра, 1987, с. 128.
- Лобанова Р.М. Изучение и оценка разломных зон для тектонического районирования сейсмоактивных территорий. В сб. «Чрезвычайные ситуации», ИГИ, Варшава, 1991, с. 40-54.
- Миславовский Е.Е., Ханн В.Е. Геологическое строение Кавказа. МГУ, 1962, с. 250.
- Прокопов К.А. Ново-Грозненский нефтегазовый район (исследования 1914 г.). Тр. Геол. Комитета. Новая серия. Вып. 438. 1922, с. 64.
- Ряуткин Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С. Изучение условий в очаговых зонах по сейсмической коре. Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980, с. 2-16.
- Снаторов В.А. и др. Современные движения земной коры и нефтегазоносность (на примере Тереко-Каспийского прогиба). М.: Наука, 1987, с. 118.
- Смирнова М.Н., Кузнецова Н.В. К вопросу геологической интерпретации Грозненского магнитного максимума. ДАН СССР, 191, 1960, с. 14-22.
- Смирнова М.Н., Стапулик В.А., Яковлева Т.В. Рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ и новые данные о глубинном строении Тереко-Каспийского прогиба. Грозный, 1987, с. 85.
- Смирнова М.Н. и др. Старогрозненское землетрясение 1971 г. Был. сети сейсмических станций Кавказа. Тбилиси, 1974.
- Смирнова М.Н. и др. Старогрозненское техногенное землетрясение в связи с использованием мезафазы «Марнетта». Физ.-геогр. сб-к ЧГПУ, 1985.
- Смирнова М.Н. и др. Использование буровых и геофизических материалов в решении задач сейсмического районирования. Сб. «Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии». Вып. 1. М., 1993, с. 139-142.
- Aki K., Chouet B. Origin of coda: source, attenuation and scattering effects. J. Geophys. Res. 1975. Vol. 80, № 23, p. 3322-3343.
- СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства.
- СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах (1981 г.).
- СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах (1985 г.).
- Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства (РСМ-85).
- РСН 60-80. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсморазведка.
- РСН 65-87. Технические требования к производству работ. Сейсмическое микрорайонирование.

ЧАСТЬ III

1. Уитмен Р.В., Корнелл С.А. Проектирование://Сейсмический риск и инженерные решения: М., Издра, 1981 (Seismic risk and engineering decisions; ESPC; Austerdahl-Oxford-New York; 1976), с. 300-336.
2. Капиторович Л.В., Кейтис-Борок В.И., Молчан Е.И. Сейсмический риск и принципы сейсмического районирования:// Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмических данных. Вычисл. сейсмология. Вып. 6. М.: Наука, 1974, с. 3-20.
3. Кофф Е.Л. Экономико-геологическая оценка техногенных изменений геологической среды урбанизированных территорий (методическое пособие). Материалы научно-практического семинара «Проблемы инженерной геологии и инженерной сейсмологии городов и урбанизированных территорий» (г. Петропавловск-Камчатский 1990 г.). II том. М., 1990, с. 128.
4. Рагозин А.Л. Оценка и картирование опасности и риска от природных и техногенных процессов (история и методология).// Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 3, М., 1993, с. 16-40.
5. Рагозин А.Л. Оценка и картирование опасности и риска от природных и техногенных процессов (методика и примеры).// Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 5, М., 1993, с. 4-21.
6. Рагозин А.Л. Основные положения методики оценки риска от землетрясений и других опасных процессов.// Сейсмический риск и сейсмическое микрорайонирование. Тезисы докладов межреспубликанского научного семинара (Иркутск, 26-29 сентября 1994 г.). Иркутск, 1994, с. 8-9.
7. Дуников А.И., Рагозин А.Л. Оценка сейсмического риска в приморских городах Дагестана.// Сейсмический риск и сейсмическое микрорайонирование: Тезисы докладов межреспубликанского научного семинара (Иркутск, 26-29 сентября 1994 г.). Иркутск, 1994, с. 61-62.
8. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980, с. 308.
9. Кофф Е.Л., Кепжебаев Е.Т., Лобацкий Р.М. и др. Анализ макросейсмических данных для уменьшения ущерба от землетрясений. В 2 кн., Москва, МЧС, ИЛСАН, 1992, с. 393.
10. Кофф Е.Л., Шахраманьян М.А., Кепжебаев Е.Т. и др. Анализ сейсмического риска. Спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях. В 2 кн., Москва, МЧС: ИЛСАН, 1992, с. 295.