

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
(ПНИИС)

ГО «РОССТРОЙИЗЫСКАНИЯ»

Международная академия информатизации

Отделение «Геоэкологическая информатика»

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

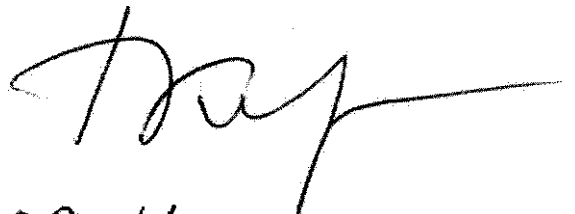
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ г.ГРОЗНОГО

(Уточнение исходной сейсмичности.
Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмический риск)

Научный редактор
профессор С.И.Полтавцев

Евгению Андреевичу Чернову
с группой от енисейского
издательства, бывшим в Грозном
в выходные часы (дважды).

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.Несмеянов, О.А.Воейкова, М.Ю.Никитин, Е.А.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 шовных 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. Наблюдаемые максимальные магнитуды землетрясений	37
3. Сейсмогенерирующие структуры (С.А.Несмеянов, А.И.Лутиков, Ю.К.Щукин, Г.Ю.Донцова)	38
3.1. Приповерхностное 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.Несмеянов, 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.Манюхин, В.В.Морозов, Г.Л.Кофф, М.Н.Смирнова, В.А.Козлов, 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 ПНИИИС, ОИФЗ, ИЛСАНе. Основные организации исполнители работ: ПНИИИС, 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 (ПНИИИС); 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 (ИЦ РАН г. Обнинск).

Часть II составлена Ю.И.Баулиным, Л.Г.Кушниром, 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 (ПНИИИС); В.В.Морозовым (КавТИСИЗпроект).

Часть III написана В.В.Севостьяновым, И.И.Бархатовым, А.И.Лутиковым при участии П.В.Корбутяка (ПНИИИС) и с использованием материалов Б.А.Кирикова, С.И.Чигрина (ЦНИИИСК); 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.Слышевой, 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 — шовных зон.

1.1. Неотектоническое районирование

Неотектоническое районирование отражает тектонические структуры, частью которых является приповерхностным отражением глубинных сейсмогенерирующих структур. Наиболее известной, опирающейся на традиционные методики, является мелкомасштабная схема неотектоники, разработанная Е.Е.Милановским [1]. Позднее предлагались схемы, отражавшие мобилистские построения [2, 9] и схемы, предполагавшие приоритет поперечных структур [3]. По все эти схемы были настолько мелкомасштабны, 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 выявлять сложную иерархизованных структур, в том числе поперечные и шовные структуры.

а. Общая схема районирования

Общая схема основных новейших структур региона в целом достаточно полно соответствует предложенной еще в 60-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 тектонодинамической обстановке ряда крупнейших структур.

В пределы рассматриваемого региона частично заходит (рис. 1.1): 1) платформенная область Предкавказья, представленная здесь северным платформенным крылом Терско-Каспийской впадины; 2) система северных краевых (предгорных) прогибов, представленная Терским и Северо-Дагестанским участками Терско-Дагестанского прогиба; 3) сводово-лыбные структуры Восточного сегмента метасвода Большого Кавказа; 4) юные Закавказские межгорные прогибы, в частности Куринский прогиб.

Распределение различных типов поперечных разрывов, флексур, молодых индрузий и т.п. позволило протрассировать две трансрегиональных поперечных структуры северо-северо-восточного прогибания — Нальчикскую и Грозненскую. 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 ориентационные и платформенные новейшие структуры в непосредственной близости от рассматриваемого региона. Эта зона (а на юге — служащий ее постоянным краем Безенгийский разрыв) является рубежом между: 1) Ставропольским сводом и северным крылом Терско-Каспийской впадины; 2) Лабинно-Малкинкой зоной северного крыла метасвода и Терско-Дагестанским краевым прогибом; 3) различными построенными Центральным и Восточным сегментами метасвода Большого Кавказа. Практически только в ней к востоку от Нальчика-Алдербак поперечной зоны имеются крупные поперечные разрывы. А по одному из них, Безенгийскому, отчетливо фиксируются правосторонние смещения. Следует отметить, что принятая в данном случае трактовка рубежа между Центральным и Восточным сегментами метасвода Большого Кавказа отличается от общепринятой, когда эта граница трассируется существенно восточнее, в частности, по Калбак-Цхинвальской зоне поперечных нарушений [1]. Однако геологические материалы позволяют считать Нальчикскую зону и ее Безенгийский свод более крупной структурой, существенно влияющей на перестройку структурного плана метасвода. В связи с этим пересмотрено внутреннее строение Восточного сегмента ориентационного метасвода Большого Кавказа, особенно его зоны центральных поднятий.

с ошибкой 0,1 градуса при среднем — 0,21 градуса; магнитуды исторических землетрясений определялись 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.Бунз, И.В.Анапашина, Э.А.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 изображены кружками, диаметр которых определяет их магнитуду.

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	1801–50	1851–99	N _г
4.3–4.7	3	4	1	7	11	30	56
4.8–5.2	4	0	5	5	7(4)	14(1)	35(5)
5.3–5.7	8	8	1	1	3	6(1)	28(1)
5.8–6.2	3	3	2	1	0	5	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 _г
3.8–4.2	15	9	5	9	13	27	96	113	96	308
4.3–4.7	3	15	17	23	18	44	30	33	29	228
4.8–5.2	15	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	1(3)	14(4)
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

г. 1960 г.

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

меньшей степенью надежности. Данные о числе землетрясений (N) различных магнитуд и их периодичности ($T_{\text{пер}}$) сведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

M	N	Годы	$T_{\text{пер}}$, лет	N^*
3.3-3.7	416	1975-1992	18	0.62179
3.8-4.2	308	1980-1992	33	0.12996
4.3-4.7	226	1980-1992	55	0.053114
4.8-5.2	87	1890-1992	103	0.01176
5.3-5.7	45	1890-1992	143	0.00428
5.8-6.2	16	1890-1992	193	0.00115
6.3-6.7	14	1900-1992	393	0.00030
6.8-7.2	6	1900-1992	804	0.00008

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

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

Были рассчитаны три варианта графика повторяемости в диапазонах магнитуд 3.3-7.0, 3.5-6.5 и 3.5-6.0. Результаты расчетов этих вариантов приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

M_{min}	M_{max}	a	b	Δa	Δb	R
3.5	7.0	2.090	1.905	0.142	0.019	0.9981
3.5	6.5	1.884	0.983	0.120	0.017	0.9992
3.5	6.0	1.976	0.979	0.156	0.024	0.9983

Здесь: Δa , Δb и R — соответственно ошибки построения ортогональной регрессии и коэффициент линейной корреляции. Видно, что наименьшие значения ошибок и очевидно наилучшие значения R соответствуют второму варианту, отвечающему наиболее полной и одновременно достаточно надежной совокупности исходных данных. Этот вариант был принят в качестве регрессионного графика повторяемости. Отметим, что полученный нами магнитудный наклон графика повторяемости $b = 0.981$ практически совпадает с оценками В.И.Буна и Т.Н.Николюковой и весьма близок к оценкам И.В.Ананиашвили [33], если воспользоваться в общепринятым класс-магнитудным соотношением Т.Г.Райтиан

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

где K — энергетический класс, то наклон графика повторяемости энергетических классов $\gamma = b/1.8 = 0.545$. Соответственно В.И.Бун и Т.Н.Николюкова получили для всего Кавказа $\gamma = 0.54$, а И.В.Ананиашвили — $\gamma = 0.56$. Что касается средней сейсмической активности $A_{\text{ср}}$ (магнитудный аналог $A_{\text{ср}}$), то нами получено значение более низкое ее значение $A_{\text{ср}} = 0.055$ (0.057 — 0.063), тогда как В.И.Бун и Т.Н.Николюкова получили $A_{\text{ср}} = 0.14$, а И.В.Ананиашвили — $A_{\text{ср}} = 0.1$. Столь сильное расхождение можно объяснить тем, что нами в рассмотренные были включены практически все сейсмические районы, лежащие к северу от 45° N.

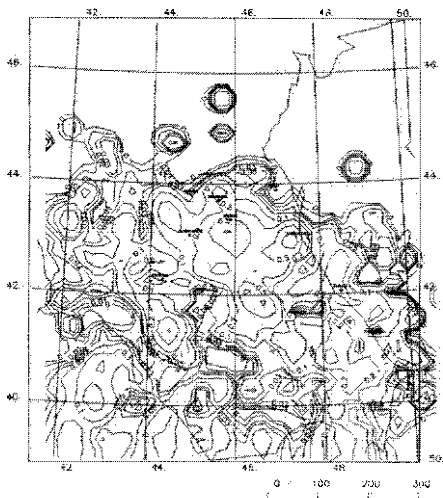


Рис. 2.2. Схема сейсмической активности Абхазской автономной Республики и Восточного Кавказа и сопредельных территорий. Изолинии даны для контуров территории в 1000 км². Изолиний обозначено число землетрясений в год с $M \geq 3.3$

На рис. 2.2 представлена схема сейсмической активности A_s региона, построенная методом изолиний детализации по данным Уточненного каталога землетрясений Центрального и Восточного Кавказа, включающего 1139 представительных землетрясений в диапазоне магнитуд 3.5–7.0 (см. таб. 5.6). Матрица схемы была получена с использованием программы SEISAC.T1: площадь ячеек 1000 км², перекрытие – 0.5. Изолинии 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 пелажиских событий были включены в рассмотрение также и афтершоки. Это распределение дано в таблице 2.8.

Таблица 2.8

Распределение числа гипоцентров (N_g) по глубинам

M, H, km	1–5	6–10	11–15	16–20	21–25	26–30	31–50	51–100	>100	N_g
4.3–4.7	30	79	77	59	59	14	51	5	—	530
4.8–5.2	13	53	24	33	19	12	12	1	—	197
5.3–5.7	5	16	17	13	4	5	8	5	—	70
5.8–6.2	2	3	10	4	2	2	5	2	—	30
6.3–7.2	3	—	6	4	1	3	3	3	—	23
N_g	53	121	129	113	85	36	80	16	1	863

2.3. Сейсмический режим территории УИС

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

Таблица 2.9

M	N	годы	$T_{\text{наб}}, \text{лет}$	N*
2.3-	499	1973-1982	10	—
2.6-3.2	793	1973-1982	10	284524
3.3-3.7	247	1973-1982	10	187100
3.8-4.2	136	1969-1982	13	226136
4.3-4.7	34	1900-1982	83	400418
4.8-5.2	32	1890-1982	103	601852
5.3-5.7	14	1880-1982	142	220623
5.8-6.2	7	1800-1982	183	330230
6.3-6.7	4	1500-1982	483	530352
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 неразличимые значения наклона графика повторяемости вследствие достаточной 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:

$$\lg N^* = 2.547 \pm 0.029 - (1.941 \pm 0.014) M \quad (2.1)$$

при коэффициенте линейной корреляции $R_2 = 0.9995$. Средняя сейсмическая активность $A_0 = 0.13$, что очень хорошо согласуется с результатами Н.И. Бука и Т.П. Поляковой и весьма близко к результату И.В. Алавердина [53]. На этот раз близость результатов легко объяснить тем, что из рассмотрения были исключены асейсмичные районы к северу от 45° N. В то же время заметен некий наклон графика повторяемости в терминах энергетических классов $\gamma = b/1.8 \approx 0.58$, что несколько выше, чем у И.В. Алавердина или для центральной части Тереко-Дагестанского прогиба (б. Нахичевань до Махачкалы), где было определено $\gamma \approx 0.55$ [53]. Впрочем, расхождение — не слишком велико и лежит в пределах ошибок определения. Вообще же можно подметить тенденцию увеличения наклона графика повторяемости с уменьшаемым значением максимальной представительной магнитуды (при условии, конечно, что она действительно — представительная).

Для детального знания повторяемости землетрясений различных магнитуд строилась схема сейсмической активности A_M (рис. 2.3), являвшейся аналогом сейсмической активности A_0 . При этом сейсмическая активность определялась по формуле [51]:

$$A_M = \frac{1}{10^{0.154(M-M_{\min})}} \cdot \frac{S_0}{S} \cdot \frac{1}{T} \cdot N_M \quad (2.2)$$

где b — наклон графика повторяемости (в данном случае $b \approx 1.941$); $M_{\min} = 3.0$ — наименьшая представительная магнитуда (уровень представительности) $M_0 = 3.33$ — магнитуда землетрясений, которой соответствует рассчитываемая активность M_0 ; S — площадь площадки (территория); T — период представительства наблюдения землетрясений; S_0 — принятая в соответствии с A_0 единица нормирования по площади (в данном случае $S_0 = 1000$ кв. км); T_0 — единица времени (1 год); N_M — общее число землетрясений различных магнитуд $M \geq M_{\min}$ наблюдаемых за время T на площади S . Поскольку рисунки 2.2 и 2.3, легко убедиться, что второй является близкой копией выделенной срединной линией фрагмента первого, что свидетельствует об устойчивости схемы сейсмической ак-

(рис. 3.4-3.6) показывает, что места локализации верхнекоровых, среднекоровых и нижнекоровых-верхнемагнитных наиболее сильных ($M \geq 5,8$) землетрясений, как правило, разнораспределены и территориально. Так, в радиусе приблизительно 80 км от Грозного нет 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 кровле верхней мантии.

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

Таблица 2.11

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

M	N	Годы	$T_{\text{пр}}, \text{лет}$	N*	N*
2,8-3,2	635	1975-1992	18	0,28125	0,28125
3,3-3,7	162	1975-1992	18	0,07125	0,07125
3,8-4,2	74	1960-1992	33	0,14234	0,14234
4,3-4,7	32	1960-1992	33	0,02184	0,02184
4,8-5,2	7	1890-1992	103	0,00431	0,00431
5,3-5,7	2	1870-1992	143	0,00089	0,00089
5,8-6,2	0	1890-1992	103	—	—
6,3-6,7	0	1585-1992	407	—	—

Таблица 2.12

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

M	N	Годы	$T_{\text{пр}}, \text{лет}$	N*	N*
2,8-3,2	27	1975-1992	18	0,06166	0,06166
3,3-3,7	14	1975-1992	18	0,02513	0,02513
3,8-4,2	9	1960-1992	33	0,01615	0,01615
4,3-4,7	15	1960-1992	33	0,00276	0,00276
4,8-5,2	4	1890-1992	103	0,001284	0,001284
5,3-5,7	3	1850-1992	143	0,00031	0,00031
5,8-6,2	5	1890-1992	103	0,00066	0,00066
6,3-6,7	2	1585-1992	407	0,00026	0,00026

Таблица 2.13

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

M	N	Годы	$T_{\text{пр}}, \text{лет}$	N*	N*
2,8-3,2	27	1975-1992	18	0,000921	0,000921
3,3-3,7	14	1975-1992	18	0,004937	0,004937
3,8-4,2	9	1960-1992	33	0,003231	0,003231
4,3-4,7	15	1960-1992	33	0,003924	0,003924
4,8-5,2	4	1890-1992	103	0,000247	0,000247
5,3-5,7	5	1850-1992	143	0,000222	0,000222
5,8-6,2	5	1890-1992	103	0,001164	0,001164
6,3-6,7	2	1585-1992	407	0,00026	0,00026

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

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, H, км	4.3-4.7	4.8-5.2	5.3-5.7	5.8-6.2
<5	—	—	—	—
5-5	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	29	11	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. Очевидно, что залегающие выше породы осадочного чехла вследствие сравнительно небольшой прочности не в состоянии накапливать напряжения, необходимые для возникновения землетрясений более высоких магнитуд.

2.4. Наблюдаемые максимальные магнитуды землетрясений

Рассмотрим распределение максимальных наблюдаемых магнитуд землетрясений в пределах территории МЧС. Такое распределение было получено с помощью формализованного анализа Сводного каталога землетрясений Чеченской Республики и сопредельных территорий, реализованного программой MMAX. По этой программе максимальная наблюдаемая магнитуда землетрясений рассчитывалась в ячейках координатной сетки размером $0.284^{\circ} N \times 0.390^{\circ} E$ так, что площадь ячеек составляла 1600 км^2 . Матрица $M_{\max}^{(100)}$ приведена в таблице 2.16.

Таблица 2.16

Матрица наблюдаемой M_{\max} Северо-Восточного Кавказа

1/E-P-N	43.2	43.6	44.0	44.4	44.8	45.2	45.5	45.9	46.3	46.7	47.1	47.5
41.7	0	5.4	6.0	0	5.6	5.2	4.6	4.7	6.1	5.3	3.6	6.5
41.9	4.7	4.3	8.2	4.6	4.9	0	4.4	4.9	5.3	3.8	3.3	4.0
42.2	4.8	0	0	4.5	4.0	5.3	5.1	5.1	4.4	3.9	3.1	3.8
43.5	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	5.8	4.5	4.8	3.4	4.8	4.7	3.2	4.4	3.9	4.6	3.8
43.1	0	0	5.3	3.8	4.4	4.7	6.2	4.7	4.4	6.3	6.8	3.5
42.4	4.6	0	4.1	3.9	4.4	5.1	5.4	5.0	4.4	4.7	4.4	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	3.9	6.0	2.8	2.8	0	0	0
44.3	4.7	3.6	2.8	2.9	3.0	2.8	3.3	3.3	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	0	2.8	0

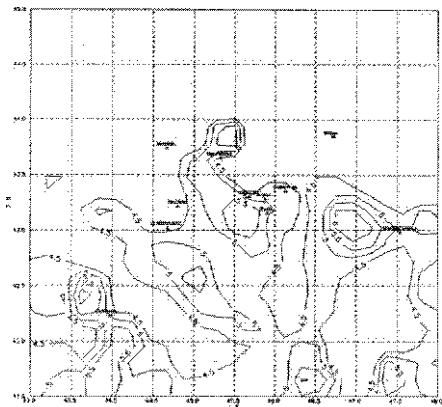


Рис. 2.12. Схема максимальных значений параметра M_{max}^{max} территории УРС в изометрии

Результаты этой матрицы в схеме изотиний M_{max}^{max} показаны на рисунке 2.12. Отметим, что во время при проведении изотиний насчет НКК КК учитываются значения M_{max}^{max} и близких значений точках, а сама матрица M_{max}^{max} весьма неоднородна, высокие значения M_{max}^{max} на изотиниях складываются, причем различие может достигать 0.5–0.7 единицы магнитуды. Из-за этого схема M_{max}^{max} в изотиниях отличается от матрицы отображает области распространения близких M_{max}^{max} . Согласно схеме M_{max}^{max} территории с. Грозный относится к зоне с $M_{max}^{max} < 5.5$ и при с учетом сделанного выше замечания это значение может быть увеличено до 6.0. По схеме также очевидно прослеживается отсутствие связи между сейсмоактивными зонами и районами 1960-х и 1970-х годов. На основании изотиний $M_{max}^{max} < 6.0$ с центром 44° N, 47° E). Эти зоны разделяются областью повышенной $M_{max}^{max} \sim 4.5$, отсутствие взаимосвязи между этими зонами подтверждается и различными глубинами залегания сейсмоактивного слоя сильных ($M \geq 5.8$) землетрясений.

Отметим, что согласно схеме прогнозной M_{max} Кавказа Г.И.Рейснера и др., построенной с использованием процедуры кластерного анализа [48] г. Грозный расположен выше границы зоны с прогнозной $M_{max} = 6.0$ с высокими значениями прогнозной M_{max} вблизи города 6.2–6.3. Матрица прогнозной M_{max} Г.И.Рейснера и др. использовалась при расчете сейсмической опасности г. Грозного ряд других научно-исследовательских учреждений.

3. СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ

При традиционном подходе к выделению зон ИСЗ, основу последних составляют тектонические структуры преимущественно разрывной природы, которые способны генерировать сильные землетрясения — сейсмогенерирующие структуры [33, 6]. Именно так производится уточнение тектонической

* Показки Г.И. Рейснера Г.И. и др. Карта M_{max} прогнозы для зоны 1–2 с центром в районе Грозный (район с. Алаверди) (Грозный: 44° 10' N, 47° 10' E). М. 1984. Обозначения: 1–11, 12–13, 14–15, 16–17, 18–19, 20–21, 22–23, 24–25, 26–27, 28–29, 30–31, 32–33, 34–35, 36–37, 38–39, 40–41, 42–43, 44–45, 46–47, 48–49, 50–51, 52–53, 54–55, 56–57, 58–59, 60–61, 62–63, 64–65, 66–67, 68–69, 70–71, 72–73, 74–75, 76–77, 78–79, 80–81, 82–83, 84–85, 86–87, 88–89, 90–91, 92–93, 94–95, 96–97, 98–99, 100–101, 102–103, 104–105, 106–107, 108–109, 110–111, 112–113, 114–115, 116–117, 118–119, 120–121, 122–123, 124–125, 126–127, 128–129, 130–131, 132–133, 134–135, 136–137, 138–139, 140–141, 142–143, 144–145, 146–147, 148–149, 150–151, 152–153, 154–155, 156–157, 158–159, 160–161, 162–163, 164–165, 166–167, 168–169, 170–171, 172–173, 174–175, 176–177, 178–179, 180–181, 182–183, 184–185, 186–187, 188–189, 190–191, 192–193, 194–195, 196–197, 198–199, 200–201, 202–203, 204–205, 206–207, 208–209, 210–211, 212–213, 214–215, 216–217, 218–219, 220–221, 222–223, 224–225, 226–227, 228–229, 230–231, 232–233, 234–235, 236–237, 238–239, 240–241, 242–243, 244–245, 246–247, 248–249, 250–251, 252–253, 254–255, 256–257, 258–259, 260–261, 262–263, 264–265, 266–267, 268–269, 270–271, 272–273, 274–275, 276–277, 278–279, 280–281, 282–283, 284–285, 286–287, 288–289, 290–291, 292–293, 294–295, 296–297, 298–299, 300–301, 302–303, 304–305, 306–307, 308–309, 310–311, 312–313, 314–315, 316–317, 318–319, 320–321, 322–323, 324–325, 326–327, 328–329, 330–331, 332–333, 334–335, 336–337, 338–339, 340–341, 342–343, 344–345, 346–347, 348–349, 350–351, 352–353, 354–355, 356–357, 358–359, 360–361, 362–363, 364–365, 366–367, 368–369, 370–371, 372–373, 374–375, 376–377, 378–379, 380–381, 382–383, 384–385, 386–387, 388–389, 390–391, 392–393, 394–395, 396–397, 398–399, 400–401, 402–403, 404–405, 406–407, 408–409, 410–411, 412–413, 414–415, 416–417, 418–419, 420–421, 422–423, 424–425, 426–427, 428–429, 430–431, 432–433, 434–435, 436–437, 438–439, 440–441, 442–443, 444–445, 446–447, 448–449, 450–451, 452–453, 454–455, 456–457, 458–459, 460–461, 462–463, 464–465, 466–467, 468–469, 470–471, 472–473, 474–475, 476–477, 478–479, 480–481, 482–483, 484–485, 486–487, 488–489, 490–491, 492–493, 494–495, 496–497, 498–499, 500–501, 502–503, 504–505, 506–507, 508–509, 510–511, 512–513, 514–515, 516–517, 518–519, 520–521, 522–523, 524–525, 526–527, 528–529, 530–531, 532–533, 534–535, 536–537, 538–539, 540–541, 542–543, 544–545, 546–547, 548–549, 550–551, 552–553, 554–555, 556–557, 558–559, 560–561, 562–563, 564–565, 566–567, 568–569, 570–571, 572–573, 574–575, 576–577, 578–579, 580–581, 582–583, 584–585, 586–587, 588–589, 590–591, 592–593, 594–595, 596–597, 598–599, 600–601, 602–603, 604–605, 606–607, 608–609, 610–611, 612–613, 614–615, 616–617, 618–619, 620–621, 622–623, 624–625, 626–627, 628–629, 630–631, 632–633, 634–635, 636–637, 638–639, 640–641, 642–643, 644–645, 646–647, 648–649, 650–651, 652–653, 654–655, 656–657, 658–659, 660–661, 662–663, 664–665, 666–667, 668–669, 670–671, 672–673, 674–675, 676–677, 678–679, 680–681, 682–683, 684–685, 686–687, 688–689, 690–691, 692–693, 694–695, 696–697, 698–699, 700–701, 702–703, 704–705, 706–707, 708–709, 710–711, 712–713, 714–715, 716–717, 718–719, 720–721, 722–723, 724–725, 726–727, 728–729, 730–731, 732–733, 734–735, 736–737, 738–739, 740–741, 742–743, 744–745, 746–747, 748–749, 750–751, 752–753, 754–755, 756–757, 758–759, 760–761, 762–763, 764–765, 766–767, 768–769, 770–771, 772–773, 774–775, 776–777, 778–779, 780–781, 782–783, 784–785, 786–787, 788–789, 790–791, 792–793, 794–795, 796–797, 798–799, 800–801, 802–803, 804–805, 806–807, 808–809, 810–811, 812–813, 814–815, 816–817, 818–819, 820–821, 822–823, 824–825, 826–827, 828–829, 830–831, 832–833, 834–835, 836–837, 838–839, 840–841, 842–843, 844–845, 846–847, 848–849, 850–851, 852–853, 854–855, 856–857, 858–859, 860–861, 862–863, 864–865, 866–867, 868–869, 870–871, 872–873, 874–875, 876–877, 878–879, 880–881, 882–883, 884–885, 886–887, 888–889, 890–891, 892–893, 894–895, 896–897, 898–899, 900–901, 902–903, 904–905, 906–907, 908–909, 910–911, 912–913, 914–915, 916–917, 918–919, 920–921, 922–923, 924–925, 926–927, 928–929, 930–931, 932–933, 934–935, 936–937, 938–939, 940–941, 942–943, 944–945, 946–947, 948–949, 950–951, 952–953, 954–955, 956–957, 958–959, 960–961, 962–963, 964–965, 966–967, 968–969, 970–971, 972–973, 974–975, 976–977, 978–979, 980–981, 982–983, 984–985, 986–987, 988–989, 990–991, 992–993, 994–995, 996–997, 998–999, 1000–1001, 1002–1003, 1004–1005, 1006–1007, 1008–1009, 1010–1011, 1012–1013, 1014–1015, 1016–1017, 1018–1019, 1020–1021, 1022–1023, 1024–1025, 1026–1027, 1028–1029, 1030–1031, 1032–1033, 1034–1035, 1036–1037, 1038–1039, 1040–1041, 1042–1043, 1044–1045, 1046–1047, 1048–1049, 1050–1051, 1052–1053, 1054–1055, 1056–1057, 1058–1059, 1060–1061, 1062–1063, 1064–1065, 1066–1067, 1068–1069, 1070–1071, 1072–1073, 1074–1075, 1076–1077, 1078–1079, 1080–1081, 1082–1083, 1084–1085, 1086–1087, 1088–1089, 1090–1091, 1092–1093, 1094–1095, 1096–1097, 1098–1099, 1100–1101, 1102–1103, 1104–1105, 1106–1107, 1108–1109, 1110–1111, 1112–1113, 1114–1115, 1116–1117, 1118–1119, 1120–1121, 1122–1123, 1124–1125, 1126–1127, 1128–1129, 1130–1131, 1132–1133, 1134–1135, 1136–1137, 1138–1139, 1140–1141, 1142–1143, 1144–1145, 1146–1147, 1148–1149, 1150–1151, 1152–1153, 1154–1155, 1156–1157, 1158–1159, 1160–1161, 1162–1163, 1164–1165, 1166–1167, 1168–1169, 1170–1171, 1172–1173, 1174–1175, 1176–1177, 1178–1179, 1180–1181, 1182–1183, 1184–1185, 1186–1187, 1188–1189, 1190–1191, 1192–1193, 1194–1195, 1196–1197, 1198–1199, 1200–1201, 1202–1203, 1204–1205, 1206–1207, 1208–1209, 1210–1211, 1212–1213, 1214–1215, 1216–1217, 1218–1219, 1220–1221, 1222–1223, 1224–1225, 1226–1227, 1228–1229, 1230–1231, 1232–1233, 1234–1235, 1236–1237, 1238–1239, 1240–1241, 1242–1243, 1244–1245, 1246–1247, 1248–1249, 1250–1251, 1252–1253, 1254–1255, 1256–1257, 1258–1259, 1260–1261, 1262–1263, 1264–1265, 1266–1267, 1268–1269, 1270–1271, 1272–1273, 1274–1275, 1276–1277, 1278–1279, 1280–1281, 1282–1283, 1284–1285, 1286–1287, 1288–1289, 1290–1291, 1292–1293, 1294–1295, 1296–1297, 1298–1299, 1300–1301, 1302–1303, 1304–1305, 1306–1307, 1308–1309, 1310–1311, 1312–1313, 1314–1315, 1316–1317, 1318–1319, 1320–1321, 1322–1323, 1324–1325, 1326–1327, 1328–1329, 1330–1331, 1332–1333, 1334–1335, 1336–1337, 1338–1339, 1340–1341, 1342–1343, 1344–1345, 1346–1347, 1348–1349, 1350–1351, 1352–1353, 1354–1355, 1356–1357, 1358–1359, 1360–1361, 1362–1363, 1364–1365, 1366–1367, 1368–1369, 1370–1371, 1372–1373, 1374–1375, 1376–1377, 1378–1379, 1380–1381, 1382–1383, 1384–1385, 1386–1387, 1388–1389, 1390–1391, 1392–1393, 1394–1395, 1396–1397, 1398–1399, 1400–1401, 1402–1403, 1404–1405, 1406–1407, 1408–1409, 1410–1411, 1412–1413, 1414–1415, 1416–1417, 1418–1419, 1420–1421, 1422–1423, 1424–1425, 1426–1427, 1428–1429, 1430–1431, 1432–1433, 1434–1435, 1436–1437, 1438–1439, 1440–1441, 1442–1443, 1444–1445, 1446–1447, 1448–1449, 1450–1451, 1452–1453, 1454–1455, 1456–1457, 1458–1459, 1460–1461, 1462–1463, 1464–1465, 1466–1467, 1468–1469, 1470–1471, 1472–1473, 1474–1475, 1476–1477, 1478–1479, 1480–1481, 1482–1483, 1484–1485, 1486–1487, 1488–1489, 1490–1491, 1492–1493, 1494–1495, 1496–1497, 1498–1499, 1500–1501, 1502–1503, 1504–1505, 1506–1507, 1508–1509, 1510–1511, 1512–1513, 1514–1515, 1516–1517, 1518–1519, 1520–1521, 1522–1523, 1524–1525, 1526–1527, 1528–1529, 1530–1531, 1532–1533, 1534–1535, 1536–1537, 1538–1539, 1540–1541, 1542–1543, 1544–1545, 1546–1547, 1548–1549, 1550–1551, 1552–1553, 1554–1555, 1556–1557, 1558–1559, 1560–1561, 1562–1563, 1564–1565, 1566–1567, 1568–1569, 1570–1571, 1572–1573, 1574–1575, 1576–1577, 1578–1579, 1580–1581, 1582–1583, 1584–1585, 1586–1587, 1588–1589, 1590–1591, 1592–1593, 1594–1595, 1596–1597, 1598–1599, 1600–1601, 1602–1603, 1604–1605, 1606–1607, 1608–1609, 1610–1611, 1612–1613, 1614–1615, 1616–1617, 1618–1619, 1620–1621, 1622–1623, 1624–1625, 1626–1627, 1628–1629, 1630–1631, 1632–1633, 1634–1635, 1636–1637, 1638–1639, 1640–1641, 1642–1643, 1644–1645, 1646–1647, 1648–1649, 1650–1651, 1652–1653, 1654–1655, 1656–1657, 1658–1659, 1660–1661, 1662–1663, 1664–1665, 1666–1667, 1668–1669, 1670–1671, 1672–1673, 1674–1675, 1676–1677, 1678–1679, 1680–1681, 1682–1683, 1684–1685, 1686–1687, 1688–1689, 1690–1691, 1692–1693, 1694–1695, 1696–1697, 1698–1699, 1700–1701, 1702–1703, 1704–1705, 1706–1707, 1708–1709, 1710–1711, 1712–1713, 1714–1715, 1716–1717, 1718–1719, 1720–1721, 1722–1723, 1724–1725, 1726–1727, 1728–1729, 1730–1731, 1732–1733, 1734–1735, 1736–1737, 1738–1739, 1740–1741, 1742–1743, 1744–1745, 1746–1747, 1748–1749, 1750–1751, 1752–1753, 1754–1755, 1756–1757, 1758–1759, 1760–1761, 1762–1763, 1764–1765, 1766–1767, 1768–1769, 1770–1771, 1772–1773, 1774–1775, 1776–1777, 1778–1779, 1780–1781, 1782–1783, 1784–1785, 1786–1787, 1788–1789, 1790–1791, 1792–1793, 1794–1795, 1796–1797, 1798–1799, 1800–1801, 1802–1803, 1804–1805, 1806–1807, 1808–1809, 1810–1811, 1812–1813, 1814–1815, 1816–1817, 1818–1819, 1820–1821, 1822–1823, 1824–1825, 1826–1827, 1828–1829, 1830–1831, 1832–1833, 1834–1835, 1836–1837, 1838–1839, 1840–1841, 1842–1843, 1844–1845, 1846–1847, 1848–1849, 1850–1851, 1852–1853, 1854–1855, 1856–1857, 1858–1859, 1860–1861, 1862–1863, 1864–1865, 1866–1867, 1868–1869, 1870–1871, 1872–1873, 1874–1875, 1876–1877, 1878–1879, 1880–1881, 1882–1883, 1884–1885, 1886–1887, 1888–1889, 1890–1891, 1892–1893, 1894–1895, 1896–1897, 1898–1899, 1900–1901, 1902–1903, 1904–1905, 1906–1907, 1908–1909, 1910–1911, 1912–1913, 1914–1915, 1916–1917, 1918–1919, 1920–1921, 1922–1923, 1924–1925, 1926–1927, 1928–1929, 1930–1931, 1932–1933, 1934–1935, 1936–1937, 1938–1939, 1940–1941, 1942–1943, 1944–1945, 1946–1947, 1948–1949, 1950–1951, 1952–1953, 1954–1955, 1956–1957, 1958–1959, 1960–1961, 1962–1963, 1964–1965, 1966–1967, 1968–1969, 1970–1971, 1972–1973, 1974–1975, 1976–1977, 1978–1979, 1980–1981, 1982–1983, 1984–1985, 1986–1987, 1988–1989, 1990–1991, 1992–1993, 1994–1995, 1996–1997, 1998–1999, 2000–2001, 2002–2003, 2004–2005, 2006–2007, 2008–2009, 2010–2011, 2012–2013, 2014–2015, 2016–2017, 2018–2019, 2020–2021, 2022–2023, 2024–2025, 2026–2027, 2028–2029, 2030–2031, 2032–2033, 2034–2035, 2036–2037, 2038–2039, 2040–2041, 2042–2043, 2044–2045, 2046–2047, 2048–2049, 2050–2051, 2052–2053, 2054–2055, 2056–2057, 2058–2059, 2060–2061, 2062–2063, 2064–2065, 2066–2067, 2068–2069, 2070–2071, 2072–2073, 2074–2075, 2076–2077, 2078–2079, 2080–2081, 2082–2083, 2084–2085, 2086–2087, 2088–2089, 2090–2091, 2092–2093, 2094–2095, 2096–2097, 2098–2099, 2100–2101, 2102–2103, 2104–2105, 2106–2107, 2108–2109, 2110–2111, 2112–2113, 2114–2115, 2116–2117, 2118–2119, 2120–2121, 2122–2123, 2124–2125, 2126–2127, 2128–2129, 2130–2131, 2132–2133, 2134–2135, 2136–2137, 2138–2139, 2140–2141, 2142–2143, 2144–2145, 2146–2147, 2148–2149, 2150–2151, 2152–2153, 2154–2155, 2156–2157, 2158–2159, 2160–2161, 2162–2163, 2164–2165, 2166–2167, 2168–2169, 2170–2171, 2172–2173, 2174–2175, 2176–2177, 2178–2179, 2180–2181, 2182–2183, 2184–2185, 2186–2187, 2188–2189, 2190–2191, 2192–2193, 2194–2195, 2196–2197, 2198–2199, 2200–2201, 2202–2203, 2204–2205, 2206–2207, 2208–2209, 2210–2211, 2212–2213, 2214–2215, 2216–2217, 2218–2219, 2220–2221, 2222–2223, 2224–2225, 2226–2227, 2228–2229, 2230–2231, 2232–2233, 2234–2235, 2236–2237, 2238–2239, 2240–2241, 2242–2243, 2244–2245, 2246–2247, 2248–2249, 2250–2251, 2252–2253, 2254–2255, 2256–2257, 2258–2

Главное надлежит и характерные для Дагестана поперечные структурные. Не исключены поэтому специфика параметров сейсмических очагов в разных частях рассматриваемой территории. Сказанное свидетельствует в пользу целесообразности выделения в рассматриваемом районе ряда сейсмологических областей.

3.2. Отражение сейсмогенерирующих структур в глубинном строении по геофизическим данным

Территория УИЧ, принадлежавшая двум главным тектоническим элементам Кавказского региона, Терско-Каспийскому прогибу — на севере и северо-востоке, мегатектонической Восточной Кавказы и поясу Антикавказских межгорных прогибов — на юге может считаться довольно хорошо изученной [30]. Придавая же глубинному строению по геофизическим данным в связи с сейсмичностью испанно-австрийского подушного шара:

- рельефа поверхности консолидированного фундамента [53];
- рельефа поверхности Мохоровичича [34];
- глубинных аномалий силы тяжести [17];
- магнитических аномалий силы тяжести [10];
- аномалий силы тяжести в редукции Буге [23];
- теплового потока [23];
- аномалий магнитного поля [28].

Помимо указанных карт в ряде случаев использовались карты градиентов таких параметров, как:

- горизонтальный градиент глубины поверхности консолидированного фундамента [7];
- горизонтального градиента глубинных аномалий силы тяжести [7];
- горизонтального градиента аномалий силы тяжести в редукции Буге [7].

Надлежит отметить перечисленные выше параметров строились различным способом с использованием математических средств цифровой системы СКО по исходным картам соответствующих параметров.

Важным дополнением к перечню карт при рассмотрении мест возникновения сильных землетрясений являются карты параметров:

- рельефа поверхности консолидированного фундамента и его горизонтальный градиент;
- глубины поверхности Мохоровичича;
- вертикального распределения аномалий силы тяжести и их горизонтальных градиентов;
- аномалий интенсивности теплового потока и его горизонтального градиента.

В отечественных источниках также имеются и другие параметры [6, 23].

Перечисленные выше карты параметров глубинного строения и геофизических полей используются для исследования глубинной, сугубо региональной (всю encompassing геофизическую) информации. Схему глубинных структур, показывающую в плане распространение структур (гетерогенностей) рельефной природы, отнесенных к двум этапам — по глубине их залегания. Первым, верхнею, этапом является распределение осадочный чехол и верхний слой консолидированной коры до глубины приблизительно — 25 км (хотя, конечно, эта цифра не является условной). Структуры (неоднородности) распределения под верхним осадочным отложением уже к нижней коре и (или) верхней мантии. Спределенные параметры глубинного строения и геофизических полей могут характеризовать верхний или нижний «этапы» или одновременно тот и другой. Так, аномалии аномалии градиента триним консолидированного фундамента, аномалии силы тяжести в редукции Буге, аномалии магнитного поля и горизонтальный градиент в верхней коре и граница Мохор и глубинные аномалии силы тяжести — нижней коре и верхней мантии (до глубины ~ 100 км); тепловой поток (Q) может характеризовать как неоднородности верхней, так и нижней коры.

Схема глубинных структур по вертикали и возможно «этапам» строилась в качестве выходящих параметров от поле репрезентативным параметрам. Она приведена на рисунке 3.1. В связи с тем, что с пространственным распределением сейсмичности и геофизическими материалами она служит геофизической основой для построения Схемы сейсмогенерирующих структур.

¹ Цитируя Ю. Ю. и др. Геофизическое исследование глубинного строения Кавказского субрегиона (по данным сейсмологических данных и геофизических параметров). М.: 1986 (Геофизический институт АН СССР). Издание: карта масштаба 1:500 000 (карта масштаба 1:500 000 (Геофизический)).

1000 человек и разрушено несколько десятков тысяч жилых строений. Сейсмический эффект в районе г. Грозного составил 4-5 баллов. Землетрясение сопровождалось тремя сильными афтершоками (29.04.1991 г. с магнитудой 6,2 и инструментальной глубиной очага — 5 км, который произошёл приблизительно через 3 часа после основного толчка; 29.04.1991 г. с магнитудой 6,1, инструментальной глубиной очага — 5 км, который произошёл приблизительно через 4 часа после основного толчка, и 15.05.1991 г. с $M = 6,2$ и $h = 11$ км. В период с 29 апреля по 13 декабря 1991 г. было определено изложение очагов для 838 афтершоков Равнинского землетрясения. Основная часть афтершоков образует зону, простирающуюся в направлении от Амбургаура на северо-западе до Джаны на юго-востоке, протяженностью около 80 км. Ширина зоны — от 10–12 км в юго-восточной части до 17–20 км — в северо-западной. Для большинства афтершоков глубина гипоцентров не превышает 10 км [20].

В табл. 8.1 приведены максимальные для каждой зоны или угла наблюдаемые магнитуды землетрясений.

4. МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, ОСНОВНЫЕ ЗОНЫ ВОЗ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ СОТРИСАЕМОСТЬ

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 макросейст (рис. 4.1) [2, 4, 5, 11–14, 27, 32, 34, 44, 46, 56, 57]. Стрелками на схеме обозначены преобладающие линейные размеры очагов землетрясений, причем простирания определялись по ориентации больших осей старших изосейст, а линейные размеры по макросейсмическим данным [60] или по спектрам наблюдаемых и подсчитанных для этих землетрясений в соответствии с макросейсмическими моделями очагов [3] (см. также раздел 4.3).

Рассмотрим общие параметры уравнения макросейсмического поля (УМП). Для Большого Кавказа характер изменения макросейсмического поля в зависимости от магнитуды землетрясения и гиподипольного расстояния достаточно хорошо описывает уравнение Н.В. Шубовой [60]:

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

где R — гиподипольное расстояние, I — сейсмическая балльность, а параметры $a = 1,5$, $v = 3,5$, $c = 3,0$. По имеющимся в нашем распоряжении данным (схемы изосейст 28 землетрясений территории УИС) было сделано уточнение параметров УМП для Чеченской Республики и соседственных территорий. Параметры УМП уточнялись отдельно для больших и малых подзонах изосейст (большие оси изосейст вытянуты, как правило, вдоль тектонических структур, а малые — вкосо к ним), причем сначала оценивался параметр затухания v , а затем, по известному затуханию и балльности, коэффициент при магнитуде a и свободный член c . Параметр затухания оценивался методом ортогональной регрессии между величинами

$$\Delta I_k = I_k - I_j = \frac{1}{\sqrt{\Delta_k^2 + N_k^2}} (\Delta_k^2 + N_k^2)$$

здесь I_k, I_j — балльности k -ой и j -ой изосейст, Δ_k — размер их больших (или малых подзон), для k -го землетрясения, N_k — глубина очага k -го землетрясения.

В таблице 4.1 приведены фактические данные о размерах больших и малых подзон изосейст 28 землетрясений территории УИС, по которым уточнялись параметры УМП (рис. 4.1).

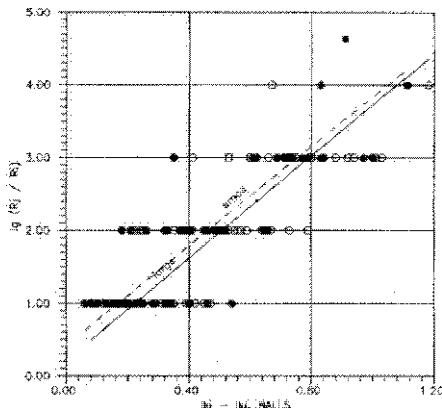


Рис. 4.2. Сравнение данных по фактору формы по большой оси R_x и малой R_y с данными по температурной чувствительности флуоресцентных комплексов при возбуждении $\rightarrow \lg(R_y/R_x)$. Значения R_x и R_y даны в \AA (длина волны возбуждения 365 nm). Без учета изотропии. С помощью этих данных даны значения $\lg(R_y/R_x)$ и $R_y^2 - R_x^2$ (в 10^{11}).

Видно, что в целом наблюдается очень хорошее согласие между полученными нами значениями затухания и затуханием в уравнении П.В.Небелкина для Большого Кавказа, хотя несколько неожиданным является то, что затухания, определенные по большим и малым полуосям совпадают в пределах ошибок, а также то, что затухание вдоль больших осей оказалось несколько большим, чем вдоль малых.

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

по большим полуосям — $\gamma = 3.514 \pm 0.291$, $R_c = 0.8204$

по малым полуосям — $\gamma = 3.410 \pm 0.233$, $R_c = 0.8666$

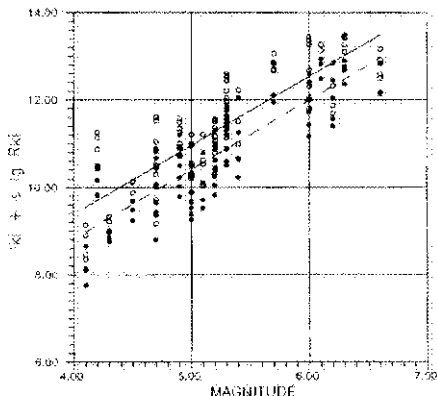


Рис. 4.3. Зависимость параметра $lg R + 0.5 lg R_{sk}$ от магнитуды M для землетрясений большого (большая окружность) и малого (маленькая окружность) радиуса и эпицентральных расстояний. Прямые — результаты линейной регрессии для землетрясений большого и малого радиуса. Дashed line — результаты линейной регрессии для землетрясений большого радиуса.

Коэффициент при магнитуде и свободный член УМП определялись методом наименьших квадратов (рис. 4.3) при применении регрессии строилась между выражением

$$L = v + \lg \sqrt{(\Delta_0^2 + R^2)} \quad \text{и магнитудами } M,$$

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

	a	c	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. Шобалина, хотя по малым полуосям получено более низкое значение свободного члена. Однако, в пределах ошибок и в этом случае результаты близки.

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

Размеры больших и малых полусей изосейст землетрясений территории УИС

Дата	ToN	ToE	h, км	M	Большие и малые полусей изосейст балльности 4-9, км					
					9	8	7	6	5	4
9.03.1890	43.10	46.80	13	6.3	7.5	34.14	67.45	129.95	224.180	-
16.10.1896	43.80	45.40	35	6.0	-	-	-	-	96.54	244.220
19.09.1912	43.50	45.10	50	5.7	-	-	18.12	64.36	164.110	290.208
3.09.1926	42.80	45.60	10	4.7	-	-	10.7	30.24	75.53	-
16.02.1929	43.10	43.90	17	5.3	-	-	39.12	74.49	113.88	163.140
24.10.1933	42.90	45.90	10	5.2	-	-	17.11	37.27	56.14	102.78
7.05.1940	41.70	41.80	19	6.0	-	30.12	58.33	78.55	119.92	165.150
25.06.1945	41.90	46.40	35	6.1	-	-	37.28	115.88	200.150	-
31.05.1950	43.10	46.00	8	4.2	-	-	6.3	23.11	60.38	158.78
2.11.1951	42.30	45.30	20	5.3	-	-	29.15	70.39	131.80	183.145
4.03.1954	43.41	45.93	5	4.3	-	-	-	5.4	15.13	39.29
2.03.1955	43.03	45.71	16	4.9	-	-	10.6	29.19	73.53	115.93
17.06.1960	43.27	45.39	25	5.1	-	-	42.7	18.6	28.19	47.40
14.05.1970	43.09	47.09	13	6.6	8.3	32.10	35.30	75.04	-	-
26.05.1971	43.30	45.40	7	4.1	-	-	2.1	4.3	9.6	29.16
8.05.1972	43.02	46.40	11	4.5	-	-	-	10.5	27.18	46.33
4.04.1974	42.30	45.30	23	5.2	-	-	-	23.45	68.48	123.55
13.11.1975	42.08	46.55	7	4.7	-	-	7.3	18.10	35.22	52.37
23.12.1975	42.25	46.52	6	5.0	-	-	7.4	18.9	31.23	47.38
5.01.1975	43.00	47.12	4	5.2	-	-	15.9	27.17	44.30	62.51
28.07.1976	43.17	45.60	28	6.2	-	-	17.11	38.33	75.70	130.100
26.05.1978	41.51	46.45	55	5.3	-	-	-	47.15	98.06	141.109
23.02.1981	41.82	46.08	10	4.9	-	-	8.4	20.8	41.28	98.06
15.10.1981	43.26	45.38	30	5.4	-	-	7.4	22.18	41.35	73.60
4.04.1984	43.04	45.54	25	5.3	-	-	-	25.23	50.47	88.77
26.04.1985	43.07	45.87	19	4.7	-	-	-	8.5	16.13	26.21
4.02.1985	42.16	45.73	15	5.1	-	-	-	-	23.15	75.60
3.08.1989	43.43	45.25	13	5.0	-	-	9.6	20.12	49.32	72.58

4.2. Макросейсмический эффект землетрясений на территории г. Грозного

Анализ имеющихся данных по сейсмическому эффекту землетрясений ощущавшихся в г. Грозный показал, что за всю историю своего существования в нем не было сотрясений интенсивностью свыше 6-7 баллов. Что касается удаленных сильных Кавказских и Анатолийских землетрясений, то их сейсмический эффект не превышал 5 баллов.

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

Очевидно, что таблица 4.2 представляет далеко не полные данные о наблюдаемом в городе сейсмическом 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 сейсмической сотрясаемости.

Таблица 4.2.

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

1 баллы	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	N _г
N	1	1	2	7	3	6	2	1	23

Интересно сравнить полученные нами оценки с картами фактически наблюдаемых сотрясаний, составленных в масштабе 1:2500000 И.В.Ананьиным² и А.А.Никоновым [42]. По данным И.В.Ананьина территория г. Грозного относится к зоне с фактически наблюдаемой 6-ти балльной сотрясаемостью, что в точности согласуется и с нашими выводами. А.А.Никонов, обобщив данные о фактически наблюдаемой балльности за последние 300 лет, дает более высокую оценку по его данным территории Грозного относится к зоне с фактически наблюдаемыми 7-и балльными сотрясениями. 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 о поочередной сейсмогенерирующих структур (рис. 3.2), в которой были суммированы геологические, геофизические и сейсмологические данные. Были выделены основные зоны ВОЗ с $M_{max} \geq 5.5$. Остальная территория отнесена к областям с фоновой сейсмичностью $M_{max} < 5.5$. Высокий уровень фоновой сейсмичности связан с практически повсеместным достаточно высоким уровнем сейсмической активности ($A_{0.1} \geq 0.1$). При приписании той или иной зоне магнитуды M_{max} принимались во внимание: максимальная наблюдаемая в ней магнитуда, схожесть в основных элементах ее внутреннего строения, величине сейсмической активности, количественных показателях параметров основных геофизических полей (см. раздел 3.2) с другими зонами, где наблюдались землетрясения больших магнитуд.

Так, например, практически все гипоцентры сильных нижнекорово-верхнемантлийных землетрясений приурочены к зонам с высокими значениями градиентов глубинных аномалий силы тяжести [17]. Несколько хуже корреляция между местоположением гипоцентров таких землетрясений и повышенными градиентами аномалий магнитного поля [28]. Для среднечорных и приповерхностных очагов эти два признака не являются информативными. В частности для приповерхностных ($h \leq 10$ км) землетрясений замечается корреляция между положением их эпицентров и повышенными значениями латеральных градиентов поверхности консолидированного фундамента [55]. Для среднечорных ($11 \text{ км} \leq h \leq 25 \text{ км}$) землетрясений более значимой представляется корреляция между положением их эпицентров и повышенными значениями латерального градиента тензорного 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 экспертным. Максимальная наблюдаемая в зоне магнитуда рассматривалась в качестве крайней нижней оценки M_{max} ; прогнозная M_{max} в отдельных зонах превосходила 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 критической или магнитуды M_{max} и составляла не менее половины линейной протяженности соответствующего 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_{max}) от осевой части Большого Кавказа на север. Зоны ВОЗ рассекают рассматриваемую территорию несимметричной сеткой, состоящей из полого прибайкальско-кавказского и антибайкальского простирания. Дадим краткое описание выделенных зон ВОЗ (табл. 4.3). В таблице даны раздельные оценки M_{max} для верхне- и среднечорной ($h \leq 25$ км) и нижнекоровой-верхнемантлийной ($h > 25$ км) сейсмичности и оценка ожидаемого сейсмического эффекта (в баллах) от выделенных зон ВОЗ на территории г. Грозного.

1. *Малоразливаемая зона ВОЗ* разделяется на три части и включает последовательно с запада на восток: западную часть восточного подъяка Хасанюрский участок, Буйнакский узел ВОЗ и Малая ка-

² Ананьин И.В. Карта сейсмичности Кавказа, ситовая печать, масштаба 1:2500000. ДИФУЗ-САН, Армавир, 1982 (См. также приложение 1 к настоящей работе).

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

- 1а. Хасанский участок характеризуется умеренно высокой сейсмичностью $M_{max}^{набл.} = 5.5$ (1785 г.), наиболее сильные землетрясения приурочены к верхней части кристаллического фундамента (12–18 км). Прогнозная $M_{max} = 6.0$.
- 1б. Гуйнжеский узел — до недавнего времени характеризовался наиболее сильными землетрясениями в пределах Большого Кавказа $M_{max}^{набл.} = 5.6$ (1970). Максимальные землетрясения также происходили в верхней части кристаллического фундамента (13–16 км). Прогнозная $M_{max} = 7.0$.
- 1в. Махачкалинский участок также характеризуется достаточно высокой наблюдаемой сейсмичностью $M_{max}^{набл.} = 5.5$ (1958 г.). Его отличительной особенностью являются весьма малые глубины очагов сильных землетрясений (около 5 км). Очаги таких землетрясений, как правило, приурочены к участкам с неглубоким (~5 км) залеганием фундамента. Прогнозная $M_{max} = 6.0$.
2. Ангий Койкүльская зона выделяется лишь по сейсмологическим данным. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M_{max}^{набл.} = 4.8$ (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 простирания. Характеризуется сравнительно неглубокими (порядка 10 км) очагами умеренно сильных ($M \geq 5$) землетрясений и приповерхностными ($H \approx 3$ –4 км) очагами достаточно слабых ($M \approx 4$), но весьма ощутимых (до 7 баллов в эпицентре) землетрясений. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M_{max}^{набл.} = 5.2$ (1933 г.). Прогнозная $M_{max} = 5.5$.
4. Венейско-Дыдаровская зона подразделяется на две подзоны: Моладжскую и Гораторский узел.
- 4а. Моладжская подзона расположена к западу от Гораторского узла и связана с аналогичной Гудермесской сбросовой погребенной зоне структурой такого же простирания, но проходящей немного южнее. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M_{max}^{набл.} = 5.3$ (1688 г.). Прогнозная $M_{max} = 5.5$. Очаги этой подзоны относятся к верхне- и среднекоровым.
- 4б. Гораторский узел расположен на пересечении сбросовой погребенной зоны, проходящей вдоль Моладжской подзоны ВОЗ, и погребенного тектонического разлома, выделяемого по геофизическим данным. Он характеризуется достаточно высокой сейсмичностью, приуроченной к двум уровням — глубине нижнекоровому–верхнемантийному, с которым связано наиболее сильное Терское землетрясение 1912 г. ($M = 5.7$) и верхнекоровому. К последнему относится землетрясение 1989 г. ($M = 5.0$, $H = 13$ км). Прогнозная $M_{max} = 6.0$ по нижнему и 5.5 — по верхнему уровням. Гораторский узел непосредственно примыкает к Грозному с запада.

Таблица 3

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

Индекс на рисунке	Зоны ВОЗ		I, баллы
	Название	M _{max} в сейсмическичных слоях	
1	Махачкалинский		
1а	Хасанортский участок	6.0	6.0
1б	Буйнакский узел	7.0	7.0
1в	Махачкалинский участок	6.0	5.0
2	Ангий Койкүльская	5.5	4.5
3	Гудермесская		7.5
4	Венейско-Дыдаровская		
4а	Моладжская	6.0	6.0
4б	Гораторский узел	6.0	8.0
5	Черногорская	6.5	8.0
6	Дигань-Ахловская		
6а	Серноводский участок	6.0	7.0
6б	Диганский участок		7.0
7	Владикавказская зона	6.0	6.5

Идентификационный номер	Зоны ВФЗ		I _{max} базиса
	Название	M _{max} в сейсмически активных слоях	
8	Борисфакский	7.0	6.5
9	Подкарпатского сброса	6.5	6.0
11	Джарж-Ленкорнуйский	7.0	6.5
13	Северная окраина (восточная ветвь)		
14	Наурский уезд	6.0	6.5
16	Степаноградский участок	5.5	6.0

- Черноморская зона ВФЗ* сложна северной частью непосредственно захватывает территорию в Грозном. Она связана с субмеридиональной зоной поперечного дробления, имеющей глубокое заложение. На сложное строение этой зоны указывают и различные ориентации близко расположенных друг от друга очагов землетрясений. Это связано с тем, что здесь происходит пересечение тектонических структур кавказского и антикавказского простирания. Сильные очаги этой зоны отнесены к низякорным ($H > 25$ км), что существенно умеряет их сейсмическую опасность. Однако, для нее характерны и слабые приповерхностные очаги, способные создавать в небольшой прицентральной зоне сейсмический эффект до 7 баллов. Максимальная наблюдаемая магнитуда принадлежит Черноморскому землетрясению 1976 г. ($M = 6.2$), по которому зона и получила свое название. Прогнозная $M_{max} \sim 6.5$.
- Датинг-Астумский зона ВФЗ* разделяется Черноморской зоной на два участка: западный — *Судж-пидебий* (6а) и восточный — *Ардудбий* (16б). Она примыкает к южной части Черноморской зоны и связана с погребенными разломами приблизительно кавказского простирания. Очаги землетрясений этой зоны подразделяются на низякорные и акриниформы, причем низякорные характерны только для Степноградского ее участка (6а). Максимальная наблюдаемая магнитуда (1981 г.) $M = 5.4$ (Степноградский участок). На Ардудском участке $M_{max}^{max} = 5.2$ (1931 г.) (ошибки участкам зоны приписаны $M_{max} = 6.0$).
- Валдинкавская зона ВФЗ* получила название по одноименной флексури разрывной зоне, но включает в себя также и проходящие немного южнее более узкую Садонскую и Верхнеурскую шовно-депрессивные зоны. С северо-востока к ней примыкает Черноморская зона. Землетрясения этой зоны относятся к гераль- и среднекорым ($M_{max}^{max} = 5.4$ (1913 г.). Прогнозная $M_{max} = 6.0$. Однако, если принять во внимание выделенные в этой зоне небольшие дислокации [44], то ее M_{max} может быть увеличена до 6.5.
- Борисфакская зона ВФЗ* расположена на пересечении южной продольной Грозненской зоны поперечного дробления и зонной Главного надвига. Сильнейшим землетрясением к югу от Борисфакского землетрясение 1992 г. с магнитудой 6.3, опущившееся в Грозном с силой до 5 баллов. Зона характеризуется преимущественно среднекорыми землетрясениями, из которых помимо Борисфакского отметим также землетрясение 13.08.1947 г. ($M = 5.5$, $h = 25$ км), происшедшее практически под центральным углом.
- Зона ВФЗ Подкарпатского сброса* вытянута с востока на запад в субмеридиональном направлении и контактирует в основном с зоной Главного надвига. Характеризуется высокой верхнекорой сейсмичностью. Максимальная наблюдаемая магнитуда $M = 6.0$ (1742 г.). Зона объединяет ряд действующих субпараллельных тектонических структур. Прогнозная $M_{max} = 6.5$.
- Джарж-Ленкорнуйская зона ВФЗ* относится к южной склону Большого Кавказа и представляет собой сложную систему шовно-депрессивных зон. Глубокие (2–4 км) залегание кристаллического фундамента и высокие горизонтальные градиенты его поверхности, по-видимому, обуславливают чрезвычайно высокую сейсмичность этой зоны. В ней произошло сильнейшее в пределах Большого Кавказа Рачинское землетрясение 1991 г. ($M = 6.9$), являвшееся одним из сильнейших афтершоков, в том числе 3 с магнитудой $M > 6$. Вследствие недостаточной изученности зоне предпринятые приписаны факту $M_{max} = 7.0$.
- Северная окраина (восточная ветвь) зона ВФЗ* подразделяется на (11а) и *Степноградский участок* (11б). Наурский уезд расположен на пересечении южной ветви погребенного Северного крайнего разлома с продолжением погребенного кавказского разлома, членим пересеканием Грозненский уезд. Характеризуется достаточно высокой среднекорой сейсмичностью. $M_{max}^{max} = 6.0$ (1886 г.). Прогнозная $M_{max} = 6.0$ может рассматриваться в качестве нижней оценки. Далеко-восточная

сейсмо-тектоническая проработка материалов, относящихся к Паурскому уезду ВОЗ может привести к ее усложнению.

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 близлежащих населенных пунктов

Первичными материалами для определения сейсмической сотрясаемости, то есть исходной балльности и ее повторяемости служат:

- карта M_{max} или схема зон ВОЗ, на которой по сейсмо-тектоническим и геофизическим данным выделены зоны с той или иной максимальной ожидаемой магнитудой землетрясений (M_{max});
- карта (матрица) сейсмической активности A_{se} , которая позволяет для каждой зоны ВОЗ определить присущую ей повторяемость землетрясений различных магнитуд $M \leq M_{max}$;
- наклон графика повторяемости b , определяемый вместе с сейсмической активностью повторяемость землетрясений различных магнитуд;
- уравнение макросейсмического поля, дающее корреляционную зависимость, наблюдаемой балльности от магнитуды землетрясения, эпицентрального расстояния и глубины очага;
- данных о глубинах очагов сильных землетрясений;
- данные о линейных размерах очагов землетрясений различных магнитуд.

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

Расчет сотрясаемости проводился двумя способами:

1. По приближенному методу (вручную) с использованием представлений выше схемы зон ВОЗ. В этом случае предполагалось, что внутри зон ВОЗ землетрясения с магнитудой $M \leq M_{max}$ могут возникать в любой точке зоны с равной вероятностью, то есть для каждой такой зоны использовались средние значения показатели сейсмической активности. В этом варианте использовались карты (матрицы) сейсмической активности A_{se} (рис. 2.3), наклон графика повторяемости для $b = 1,041$, характерные для территории УНС в целом, и распределение гипоцентров сильных землетрясений по глубине в радиусе 60–80 км от г. Грозного (таб. 2.15) для расположенных в пределах такой удаленности от Грозного зон ВОЗ или общее для Северо-Восточного Кавказа распределение гипоцентров по глубине (таб. 2.10) — для более далеких зон ВОЗ. Расчет сейсмической сотрясаемости в этом случае велся по приближенной формуле, являющейся упрощенным аналогом интеграла сотрясаемости [51]:

$$\alpha(i) = \sum_j \sum_k (S_j^M \cdot 10^{0,5b}) \cdot R_j^M \cdot P_k^M,$$

где $\alpha(i)$ — площадь поражения с интенсивностью I баллов от землетрясения с магнитудой M_i ($i = 1, 2, 3, \dots$ — номера зон ВОЗ, землетрясения из которых создают на картируемой территории эффект в I баллов); $j = 1, 2, 3, \dots$ — индекс значений магнитуд (в порядке их убывания с шагом $\Delta M = 0,5$), которые могут оказывать сейсмический эффект интенсивностью I баллов, то есть

$M_i \leq M_j$;
 $M_i \leq M_{max} - \Delta M \cdot (j - 1)$; P_k^M — повторяемость магнитуды M_k в k -ой зоне ВОЗ, создающей сейсмический эффект в I баллов; P_k^M — весовое распределение землетрясений магнитуды M_k по глубине, L — горизонтальная протяженность очага, определяемая по макросейсмическим или инструментальным данным [3, 60]; R_j — радиус изосейсты с балльностью I от землетрясения с магнитудой M_j , определяемая из уравнения (2.1). Для расчета сотрясаемости горизонтальная протяженность очага оценивалась ввиду его региональной зависимости Н.В. Шебалина [60]:

$$\lg L_x \approx 0,5 \cdot M - 1,5$$

для верхних и среднескорых ($h \leq 25$ км) землетрясений и по полученной для Северо-Восточного Кавказа зависимости Н.Н. Аверьянковой

¹ Уткин А.И., Пучков Г.А. Уравнение изосейст сейсмичности Каспийского побережья Дагестана. В «Географических меридианах» — журнал. Каспийское побережье (Ученые исследования и материалы). Выпуск 1. Таш. Г. ВНИИИС Москва, 1989.

$$\lg T_{\text{ср}} \approx 0.35 M - 0.75 \pm 0.4$$

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

2. По программе расчета сейсмической сотрясаемости с использованием матриц M_{max} Г.И.Рейснера и В.И.Уломова, построенной на основании его фрактальной решеточной модели сейсмического процесса [54,58], карты (матрицы) сейсмической активности (см. рис. 2.2), наклона графика повторяемости $b = 0.81$ 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 использовалось УМН с параметрами П.В.Небадина (см. формулу (4.1)). Расчеты по Программе были выполнены А.И.Захаровой (ОИФЗ РАН) и И.Н.Габбасовой (ГЦ РАН, г. Обнинск).

При расчетах по упрощенной схеме все остальные параметры, кроме карты M_{max} практически совпадают с машинным вариантом расчетов. Как следует из схемы зон ВОЗ (рис. 4.4 и таблица 4.3) 8-балльные сотрясения на территории г. Грозного могут создаваться лишь землетрясениями, происходящими в Черноторской 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 $B_8 = 1/T_8$ и средним периодом повторения T_8 соответственно равными:

$$B_8 = 2.074 \times 10^{-5} \text{ лет}^{-1}, T_8 = 494 \text{ года.}$$

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. рис. 2, таблицы 2.8, 2.10, 2.13). Она составила:

	$h_{\text{ср}}$, км
Центральный и Восточный Кавказ	18.4
Территория УНС	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 $h_{\text{ср}} \approx 5$ км соответствует сильнейшим мелкофокусным землетрясениям Кавказа последних лет – Спитакского (1988) и Рачинского (1991), а глубина $h_{\text{ср}} \approx 15$ км приблизительно равна средней глубине залегания сейсмоактивного слоя на территории УНС.

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

Таблица 4.4.

Варианты расчетов среднего периода повторения (T_8) землетрясений с различной балльностью для г. Грозного

$h_{\text{ср}}$, км	Вариант расчета	Средний период повторения (T_8), лет			
		T_8	T_7	T_6	T_5
5	по Г.И.Рейснеру	2.8	11.6	49.5	263.3
	по В.И.Уломову	2.8	11.6	48.5	241.0
10	по Г.И.Рейснеру	11.8	52.6	294.0	151.4
	по В.И.Уломову	11.4	52.6	287.0	1263.0
15	по Г.И.Рейснеру	26.4	136.6	436.6	—
	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:

Гейсслер Е.И., Носачинский Л.Н. и др. Карта M_{max} территории восточной и центральной частей Западного Кавказа. Отчет по проекту 94, Обнинск, ГЦ РАН, 1994. Фонды ОИФЗ РАН (Содержит сведения из архивов).

- 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 $h_{cp} = 15$ 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 $T_p \approx 500$ 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_p , 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 Ростова-ДонТИСИЗом (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. Граничного, 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 территории 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 более 50 кв. км в масштабе от 1:1000 до 1:10000 (ЭПОС, 1992 г.).

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

Остальная часть города площадью более 200 кв. км охарактеризована схематически (СКО ПНИИС, 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 $0,7 \pm 2,0$ м, скорость течения $0,8 \pm 1,0$ 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 — $3,5 \pm 4,0$ 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 ($T_{\text{набл.}}$) 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 $0,2 \pm 0,3$ м. Ледостав наблюдается почти ежегодно, толщина льда не превышает 25 ± 30 см. В среднем мутность может достигать $2,3 \text{ кг/м}^3$. 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 простираания 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 суффозионного 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 промышленно-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, маотического, акчагыльского и апшеронского 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 прослоями 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 включениями 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 двух-ярусного 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 ниже- 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 простиранию 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 переклинали 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 преобладающим 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 закачкой 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.

Преобладающее 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 (Гипрогрознефть, 1971).

В результате ожидаемого дальнейшего подъема уровня грунтовых вод процесс подтопления территории города распространится еще шире. Это вызовет дальнейшее замачивание снизу просадочных лессовых 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 использованием 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 обусловила 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 концентратором 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 обуславливается 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 Беновского 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 Старогрозненского хребта к северу, а Октябрьского к югу. В Террской 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 принимаемостью 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-Эльдарадовская 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 радоновые 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 ширины поймы р. Сунжи с образованием островов или небольших неврезанных меандр в опущенном блоке.

Сопоставление отдешифрированных разрывов с геологическими и геофизическими данными показало их хорошую сходимость. В частности, некоторые отдешифрированные фрагменты точно совпали 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 $\gamma = 2,0 \text{ г/см}^3$ 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-Эльдарадовского 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 увенчались успехом. Поскольку речь шла об Октябрьском нефтяном месторождении, то активизировался также Бенойско-Эльдарадовский 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 дешифрируются, 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, приспособляющаяся 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, по 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 $\gamma/\text{м}^3$	Природная влажность	Показатель текучести	Козфф. пористости	Категории грунтов	
							по сейсмич. свойствам	по просадочности
Суглинок от твердого до текучепластичного непросадочный	V_{pet} $Q_{\text{III-IV}}$	0,10	1,87	0,23	0–1,47	0,76	III	–
Суглинок твердый и полутвердый (редко тугопластичный)	V_{pet} $Q_{\text{III-IV}}$	0,11	1,71	0,15	0–0,37	0,82	III	I
Суглинок твердый (редко тугопластичный)	V_{pet} $Q_{\text{III-IV}}$	0,10	1,58	0,14	0–0,3	0,96	III	II
Супесь от твердой до текучей	V_{pet} $Q_{\text{III-IV}}$	0,06	1,86	0,21	0–1,7	0,76	III	–
Супесь твердая	V_{pet} $Q_{\text{III-IV}}$	0,05	1,65	0,12	0–0,1	0,83	III	I
Супесь твердая и пластичная	V_{pet} $Q_{\text{III-IV}}$	0,06	1,60	0,11	0–0,3	0,88	III	II

Просадочные свойства грунтов характеризуются по единичным определениям на отдельных площадках 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 $\text{кг}/\text{см}^2$, 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 $\text{кг}/\text{см}^2$, 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 валунно-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 I 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 блюд 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 широко развитые 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 ПНИИС 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 суффозионных 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 суффозии в образовании провалов, воронок, местами в оседании поверхности. Развита 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° — средняя, 3–5° 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 Гойга, 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, образовании 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 ρ , 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	2,25		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

№ раз-реза	№ слоя	Литология	Мощ-ность слоя, м	Скорости сейсмиче-ских волн, м/с		Плот-ность г/м ³	УГВ, м	Декременты затуха-ния волн	
				продол-льных	попереч-ных			продол-льных	попереч-ных
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 осцилографической записи.

Регистрирующая аппаратура, состоящая из светолучевого осцилографа 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, следуя 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 (М_м) 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	М _м	М _м 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 М_м 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.

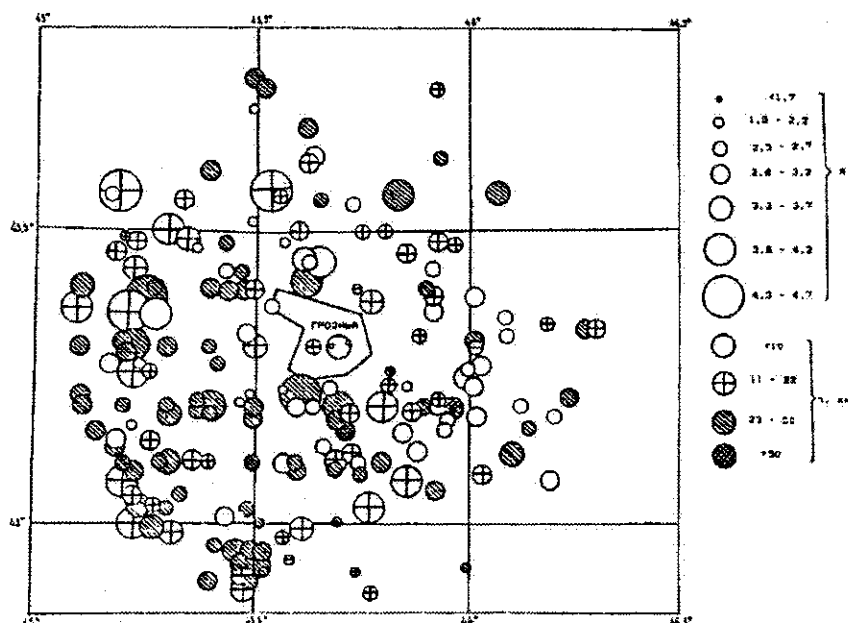


Рис. 3.1. Эпицентры землетрясений на площади с радиусом 50 км от сейсмостанции «Грозный», записи которых использованы для изучения рассеяния сейсмических волн

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.

Ближние 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 обнаруживаются 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 отличиями 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 отдельно 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 $l = 1,25$.

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 параметры 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 принята 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 $n(M) = g_0(M)/g(M)$ 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 $n(M)$ 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 ν_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:

$$\left. \begin{aligned} \lg a_{aj}^{u,t} &= \lg a_{aj}^{p,s} + \lg n_j - \xi_{aj} \lg R, \\ \lg f_{aj}^{u,t} &= \lg f_{aj}^{p,s} + \lg n_j - (\xi_{aj} - 1) \lg R, \\ \lg n_{aj}^{u,t} &= \lg n_{aj}^{p,s} + \lg n_j - (\xi_{aj} - 1) \lg R = 8\delta_{aj} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

для эффективной длительности колебаний

$$\lg \tau_{aj}^{u,t} = \lg \tau_{aj}^{u,t} = \lg \tau_{(d,s),aj}^{p,s} \quad (3.3)$$

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 среднестатистическое.

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

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

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

Исходные сейсмические воздействия на территории 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 гипоцентрального 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 см/с² 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 (Т), соответствующий i -му тону собственных колебаний зданий и сооружений. Эти расчеты выполне-

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

$$\gamma_1 = \gamma_n \cdot \gamma_2 \quad (3.5)$$

γ_n — коэффициента, учитывающего изменчивость значений A 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 не превышения 0,2.

Таблица 3.4.

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

Т, с	a, см/с ²	τ, 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 отдельно. 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.

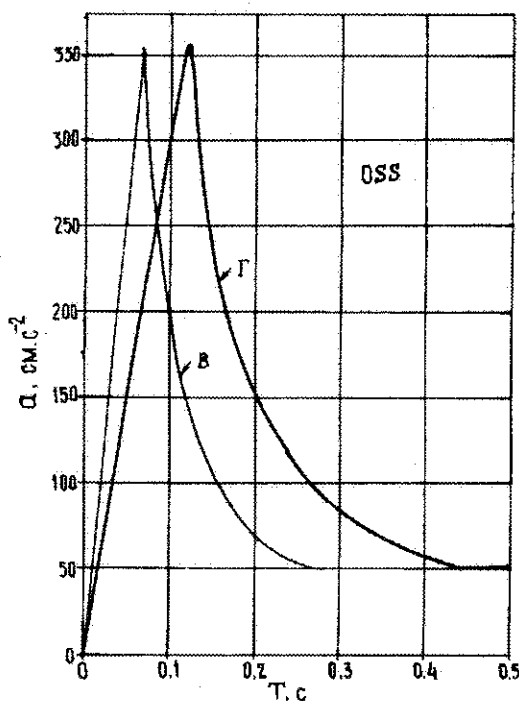
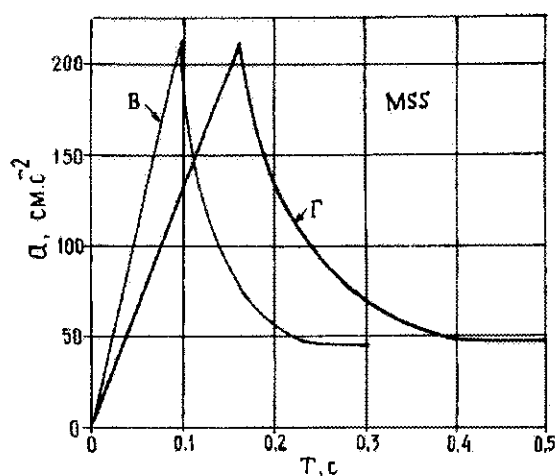


Рис. 3.2. Объемлющие максимальные горизонтальные (Г) и вертикальные (В) амплитуды ускорений колебания эталонного грунта в г. Грозный при уровне обеспеченности 0,5 — MSS и 0,07 — OSS

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

- при уровне обеспеченности значений ускорений (соответствующих значений A) 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. Грозный 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.П.Салганик, В.В.Штейнберг) и дополненный разработками ПНИИИС (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 сейсмозондирования 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 категории 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 приходится 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: $a(T)_{\pi} \times U(T)_{\pi}/U(T)_{\pi}$, где $a(T)_{\pi}$ — объемлющая максимальные ускорения колебаний эталонного грунта (разреза), $U(T)_{\pi}$ и $U(T)_{\pi}$ — соответственно АЧХ изучаемого и эталонного разреза, вычисленные по упомянутой выше программе. Значения $a(T)_{\pi}$ — 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 см/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 β (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 β (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 предпроектной инженерной подготовки площадок строительства или проектирование таких конструкций фундаментов, при которых деформации в просадочных грунтах не повлияют на устойчивость зданий.

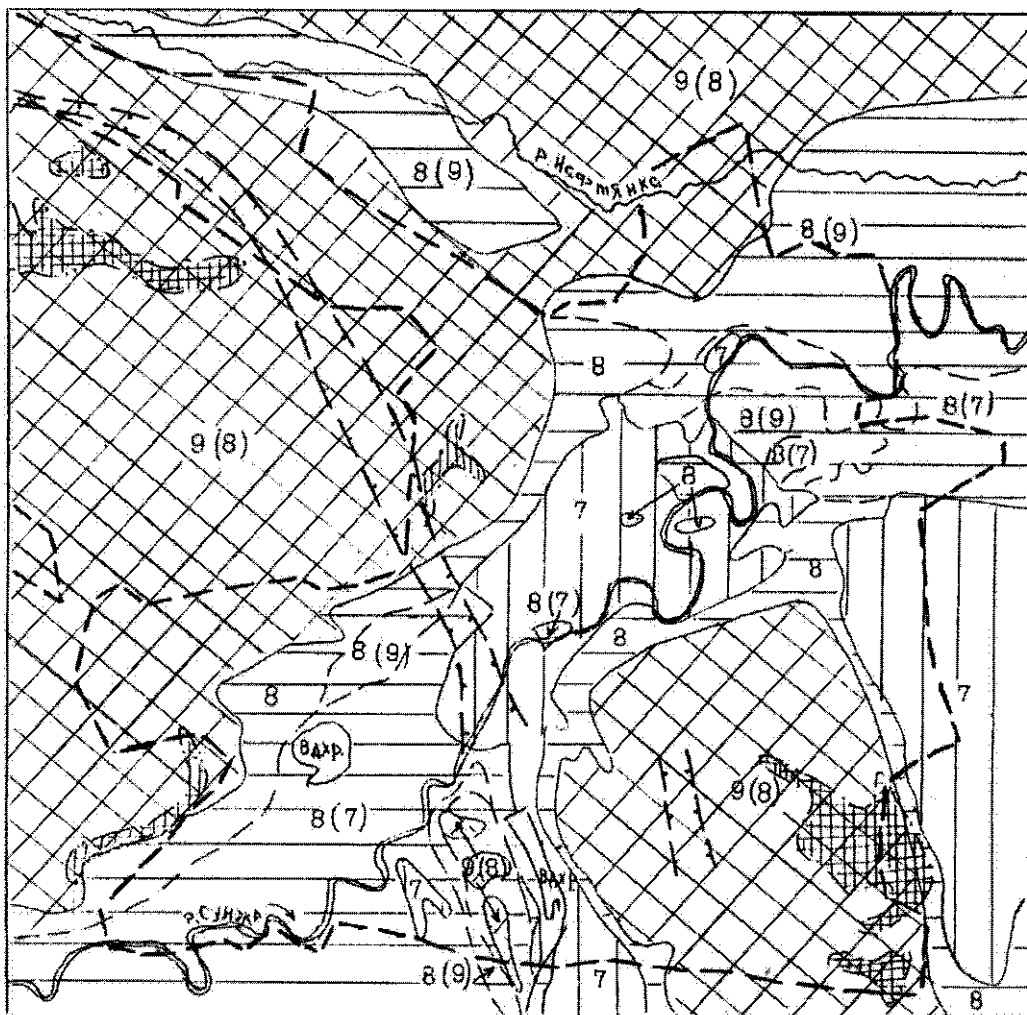


Рис. 33. СХЕМА ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ г. ГРОЗНОГО
(Составлена на основе схематической карты сейсмического микрорайонирования территории г. Грозного
масштаба 1:10000, НИИЦстройизыскания, ИНИИС, КавТИСИЗпроект, 1995)

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, подстилаемая толщей гравийно-галечниковых отложений при $h_{гп} < 5$ м (разрез типа 2), при опирании фундаментов на гравийно-галечниковые грунты принимается 7-балловая сейсмичность, на схеме обозначена индексом 8(7); 3 — зона с сейсмичностью 8 баллов, приуроченная к участкам развития суглинков и суглинков мощностью 5-10 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений, при $h_{гп} > 5$ м (разрез типа 3), обозначена на схеме индексом 8; 4 — зона с сейсмичностью 8 баллов и прогнозируемой сейсмичностью 9 баллов, приуроченная к участкам развития суглинков и суглинков мощностью 5-10 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений при $h_{гп} < 5$ м (разрез типа 3), для сохранения 8-балловой сейсмичности требуется проведение инженерных или конструктивных мероприятий по предотвращению остаточных деформаций в глинистых грунтах, на схеме обозначена индексом 8(9); 5 — зона с сейсмичностью 9 баллов, приуроченная к участкам развития суглинков и суглинков мощностью 10-15 м, подстилаемых толщей гравийно-галечниковых отложений (разрез типа 4), при $h_{гп} > 5$ м проведение мероприятий по предотвращению подтопления и техногенного замачивания просадочных грунтов позволит принять 8-балловую сейсмичность, при $h_{гп} < 5$ м проведение инженерных или конструктивных мероприятий по предотвращению остаточных деформаций в водонасыщенных грунтах также позволит принять 8-балловую сейсмичность; 6 — зона с сейсмичностью 9 баллов, приуроченная к участкам развития суглинков 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-балловая сейсмичность, на схеме обозначены индексом 9(8); 7 — границы участков с различной сейсмичностью; 8 — границы участков с прогнозируемой сейсмичностью (значения прогнозируемой сейсмичности указаны в скобках); 9 — фрагменты Белойско-Удларовской тектонической зоны; 10 — участки с крутизной склонов более 15°; 11 — граница территории восстановления г. Грозного.



Рис. 3.4. Графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ для:
 1- участок распространения гравийно-галечниковой толщи (разрез типа 1), $T_{amax}=145$ м/с², $T_{amax}=0,15$ с;
 2- участок с мощностью суглинков до 2-5 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях
 (разрез типа 2), $a_{max}=212$ см/с², $T_{amax}=0,16$ с..
 Зона 7 баллов на рис. 3.3

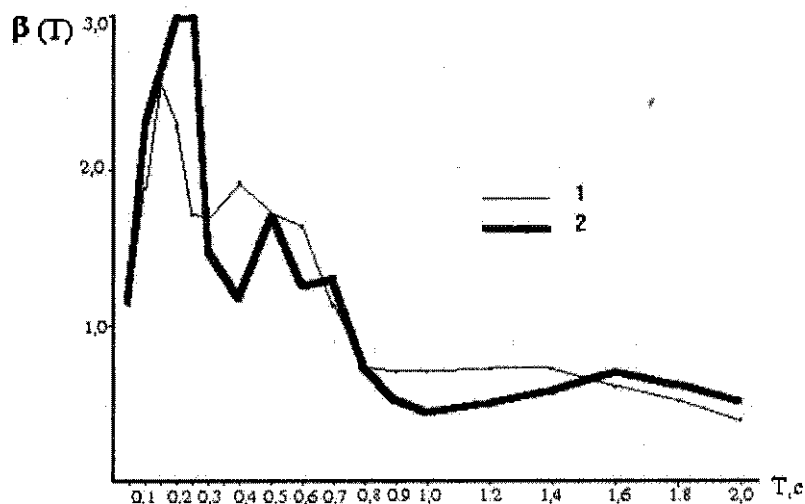


Рис. 3.5. Графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ для:
 1- участок с мощностью суглинков 5–10 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях (разрез типа 3),
 $a_{max}=254$ см/с², $T_{amax}=0,18$ с, при $h_{угл}>5$ м зона 8 баллов, при $h_{угл}<5$ м зона 8(9) баллов на рис. 3.3;
 2- участок с мощностью суглинков 10–15 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях (разрез типа 4),
 при $h_{угл}$ больше и меньше 5 м $T_{amax}=262$ см/с², $a_{max}=0,19$ с..
 Зоны 9(8) баллов на рис. 3.3

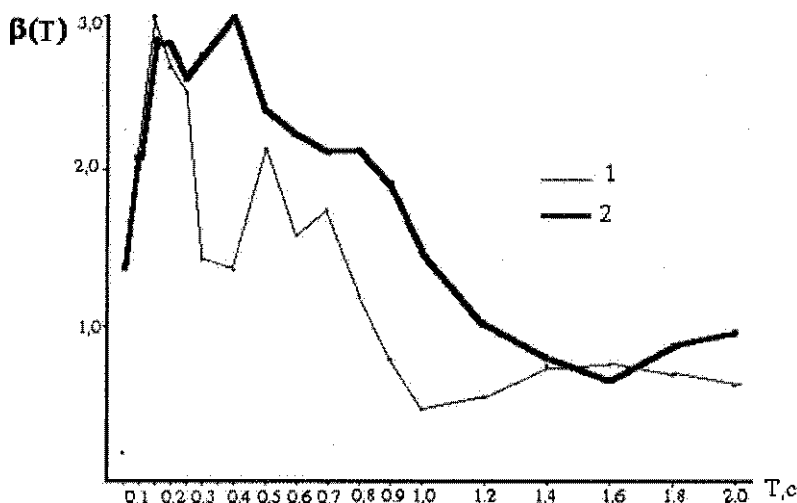


Рис. 3.6. Графики коэффициента динамичности $\beta(T)$ для:
 1 — участков с мощностью суглинков 16–30 м, залегающих на гравийно-галечниковых отложениях (разрез типа 5),
 $a_{\text{max}}=223 \text{ см/с}^2$, $T_{a\text{max}}=0,20 \text{ с}$;
 2 — участков с мощностью суглинков 30–40 м, залегающих на гравийно-галечниковых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

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 сейсмодетформаций. В пределах выделенной зоны не следует размещать нового строительства, а существующие здания и сооружения требуют первоочередной паспортизации 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-

сейсмические исследования, посвященные оценке сейсмического риска, выполнялись практически одновременно с первыми зарубежными работами. Преподнесено это оппонентам в серии публикаций В.И. Кейлине-Барона с соавторами, вышедших в 70-80 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 картирования риска эти работы, к сожалению, не имели. Важные результаты по анализу экономико-геологических последствий Спитакского землетрясения 1988 г. были опубликованы Г.А. Коффева [3]. Эта работа являлась обобщением аналогичных материалов по анализу ущерба, нанесенного зданиям различных типов в зависимости от сейсмологических условий, которые были ранжированы по степени близости рассматриваемого участка к известным (условно известным) тектоническим разломам. В этой работе впервые в нашей стране была предпринята попытка использования для этих целей геоинформационной системы.

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

В 1993 г. впервые в нашей стране ПНИИССом были выполнены достаточно масштабные работы по картированию сейсмического риска для приморских городов Дагестана [7]. Таким образом, к настоящему времени уже накоплен определенный теоретический и практический опыт, позволяющий нам выполнять комплексную оценку сейсмического риска для территории г. Грозного.

1.1. Основные положения методики оценки сейсмического риска

Эффективное решение проблемы обеспечения сейсмической безопасности территории города, населенного пункта может базироваться с одной стороны на прогнозе параметров ожидаемых сейсмических воздействий (интенсивность и повторяемость землетрясений, спектральных характеристик 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 картирования риска от опасных природных и техногенных процессов [4, 5]. Ранее этот подход был реализован нами при разработке карт сейсмического риска для гг. Махачкалы, Дербента, Каспийск и др. Поскольку понятия сейсмического риска, опасности, ущерба, уязвимости и т.д. в настоящее время не являются вполне устойчивыми в научной литературе, необходимо дать некоторые пояснения.

В данной работе под сейсмическим риском понимается вероятностная мера сейсмической опасности и соответствующего ущерба от прогнозируемых землетрясений для определенного объекта (зубишка) за определенное время.

Таким образом, понятие сейсмического риска связано как с возможностью возникновения на определенной территории землетрясения, так и с наличием на ней зданий, сооружений, населения, которым в результате землетрясения может быть нанесен ущерб. Сейсмическая опасность определяется возможной интенсивностью и повторяемостью прогнозируемых сейсмических воздействий на объект риска. Ущерб по отношению к зданиям и сооружениям в данном случае принимается как затраты на полное их восстановление после землетрясений. Это определение относится только к прямому, капитальному ущербу и не учитывает косвенный (потери от повреждения коммунальных, 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 периода жизни, занятости (работы) 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 экологического, мы относим к категории социального риска. Конечно, социальные потери от землетрясений не сводятся только к гибели людей. К этой категории ущерба можно отнести количество людей, получивших травмы, психологические стрессы, нарушение привычного ритма жизни и т.д. В данном случае мы взяли для оценки наиболее «тяжелый» параметр -- количество погибших.

Величина экономического и социального ущерба 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 сейсмической уязвимости напрямую связаны 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-61 [8], в которую были добавлены экспертные оценки реакции зданий и сооружений с антисейсмическим усилением на землетрясения различной интенсивности, эти оценки были выполнены В.А.Кириковым и С.А.Чигринным (НИИСК). Согласно сделанному дополнению сейсмической шкалы все здания были разбиты на семь категорий (от А до Ж) по степени их сейсмостойкости:

- А — здания с глинобитными стенами, стенами из кирпича-сырца или рваного камня на глиняном растворе без деревянного каркаса;
- Б — здания без антисейсмических мероприятий: на глиняном обожженном кирпиче или камнях правильной формы на растворе марки 10 и ниже; здания по пункту А, усиленные деревянным раскосным каркасом;
- В — здания без антисейсмических мероприятий: деревянные щитовые, каркасные с нагловым заполнением, здания с несущими стенами из кирпича или камней правильной формы на растворе марки около 25;
- Г — крупноблочные и каркасные здания, имеющие неплотные антисейсмические усиления: деревянные рубленные дома;
- Д — крупнопанельные 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_0), под которым понимаются затраты, необходимые для восстановления здания до исходного состояния, выраженные в долях единицы от его стоимости, и коэффициентом повреждаемости (K_0), устанавливалась 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_0) для зданий различных категорий в зависимости от интенсивности землетрясения (в баллах)

Категория зданий	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 (имеющаяся в настоящее время статистика повреждений недостаточна для получения надежных корреляционных зависимостей) устанавливалась связь между коэффициентом повреждаемости (K_0) и сейсмической уязвимостью (U_0). Из данного выше определения экономической сейсмической уязвимости формально следует, что $0 \leq U_0 \leq 1$. Однако, мы трактовали понятие уязвимости несколько шире, включая в нее и стоимость ликвидации

несостоявшихся после землетрясения зданий и сооружений. Поэтому, при высоких значениях коэффициента повреждаемости ($K_d > 4$) $U_d > 1$.

В таблице 1.2 дана связь между уязвимостью (U_d) и коэффициентом повреждаемости K_d .

Таблица 1.2

Связь между уязвимостью (U_d) и коэффициентом повреждаемости K_d

K_d	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
U_d , %	2	6	15	30	45	60	70	80	120	120

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

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

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 и степенью сейсмической поврежденности зданий (K_d) 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_d)

K_d	1	2	3	4	5
C , %	0	0,3	1,0	8,0	15,0

Число жертв $L(I)$ можно оценить, определив процент жертв или степень уязвимости $C(k, I)$ при землетрясении балльности I в зданиях категории k на основании связи между $C(k, I)$ и коэффициентом повреждаемости K_d , также установленной на основании экспертных оценок². Для более реалистичной оценки числа возможных жертв при землетрясении вводится так называемый, фактор занятости $P(H)$, исключений 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

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

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

$$L(I) = \sum_k P(H)_1 \cdot \sum_k N_k \cdot C(k, I), \quad (3)$$

где N_k — количество людей, размещенных в зданиях типа k . Выявленная нами приближенная оценка величины $P(H)$ на примере г. Каспия дана $P(H)_1 = 0,6$, $P(H)_2 = 0,3$. Эта оценка была

² На основании данных ущерба от землетрясений различных категорий интенсивности в 5-6 раз превышающих землетрясение 1990 года в Каспийском море. Связь между степенью повреждения зданий и количеством погибших людей не имеет однозначности.

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

1.2. Количественная 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 ущерба, считалась в 6 баллов, а максимальная равнялась максимально возможному сейсмическому эффекту ~ 10 баллов. 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 :

$$R_e = \sum_{i=6}^{10} P(i) \cdot Y(i) / S,$$

здесь $P(i)$ — вероятность возникновения хотя бы одного землетрясения интенсивностью в i баллов в течение года. Эта величина численно равна сейсмической сотрясаемости или обратно пропорциональна среднему периоду повторяемости землетрясений определенной интенсивности для данного района. $Y(i)$ — ожидаемый ущерб в рублях от землетрясения интенсивностью i баллов, определяемый по формуле (2). S — площадь территории, по которой дается усредненная оценка сейсмического риска (точка усреднения), выражаемая в зависимости от масштаба карты в тектирах или квадратных километрах.

Индивидуальный сейсмический риск

Для оценки социальных последствий землетрясений, выражающихся 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 $R_{ин}$ тогда

$$R_{ин} = \sum_{i=6}^{10} P(i) \cdot I(i) / P_n \quad (5)$$

здесь $I(i)$ — 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 реально 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 данный момент на этой территории в течение 1 года. В целом на величину индивидуального сейсмического риска будут иметь решающее влияние степень соответствия зданий сейсмостойкости зданий прогнозируемому сейсмическому воздействию.

Конкретные значения вероятностей 6–9 балльных сотрясений г. Грозного принимались в соответствии с результатами расчетов сейсмической сотрясаемости 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 сельтебная зона составляет 4300 га. В сельтебную зону входят территории, занятые жилой застройкой (около 2900 га), участки общественных учреждений как микрорайонного (86 га), так и общегородского значения (53 га), а также промышленные (360 га) и коммунально-складские (56 га) территории.

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

Первичными материалами для построения карты удельного 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 выполнению нерешенных строительно-восстановительных работ в Чеченской Республике (проект Минстроя России).

Анализ зданий жилой застройки, проведенный Гипрогором показал, что в г. Грозном преобладают пятиэтажные (одно- и двухэтажные) и трех-пятиэтажные дома с несущими стенами из кирпича. Большинство из этих зданий построено в довоенные или послевоенные 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 имели место неполные антисейсмические усиления для наиболее ответственных зданий социальной сферы (детсады, школы, больницы и т.п.) в более позднее время.

Таким образом, в целом значительная часть кирпичных зданий г. Грозного не была рассчитана даже на 7 баллов и могут быть отнесены к типам Б–Г по сейсмостойкости.

Начиная с 70-х годов в период введения в действие нормы и правил СНиП IIа. 12-62, по которому территория г. Грозного была включена в зону 7-балльной пеходной 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 каркасно-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 саманными стенами, облицованными снаружи кирпичом (тип А сейсмостойкости по шкале MSK-64);
- 2 — одно-, двухэтажные кирпичные жилые дома преимущественно с черепичными крышами (тип Б);
- 3 — 3–5-этажные здания довоенной и послевоенной (40–50-е годы) постройки, стены из красного кирпича на известковом растворе без антисейсмических мероприятий, перекрытия в основном деревянные (тип В);
- 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.п.) с кирпичными стенами на цементном растворе преимущественно с железобетонными перекрытиями, частично с антисейсмическими мероприятиями (типы В и Г)¹;
- 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 на 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 даны для железобетонных для капитальных зданий с двумя-четырьмя этажами с кирпичной кладкой основных несущих конструкций, в которых могут быть приняты дополнительные антисейсмические мероприятия (тип 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 строительства-восстановительных работ на территории города. Внутри секторов производился поквартальный подсчет общедомовой площади жилых зданий и высчитывалась суммарная стоимость жилого фонда в квартале 25 кв на расчете средней стоимости 1 м² жилых зданий — 220,84 руб. в ценах на декабрь 1991 г. Коэффициенты перерасчета из старых (зареформенных) цен в новые по данным Енцогра составили $k_1 = 2,5$ и $k_2 = 3541$. Посредством первого коэффициента стоимости зданий приводились к уровню цен на 31.12.1991 г., а второго — в ценам на 1.01.1995 г.

Кроме того, в отдельных кварталах (ячейках осмещения) учитывались отдельные части общественных зданий, промышленных и коммунально-складских объектов и соответственно распределение их по секторам.

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 ускорения построения карты в условиях дефицита времени был принят упрощенный вариант расчета, при котором полная стоимость застройки равномерно распределялась по единичному квадрату, затем определялась искомого значение интервальной стоимости зданий разных типов сейсмостойкости на площади в 1 га, которое и принималось за центр квадрата.

Параллельно определялось среднее количество жителей, проживающих в тех или иных зданиях на расчете в среднем 15 м² общей площади на человека. Подсчет жителей на 1 га территории производился аналогично вышеописанному подсчету стоимости. Дополнительно принимался в расчет средний уровень трудоустройства учащихся, студентов, школьников и др., проживающих в общественных зданиях и зданиях, кроме жилищно-коммунального жилищного строительства.

В конечном итоге по единичному сейсмическому риску вычислялись коэффициенты стоимости 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 значащих их людей по административным районам г. Грозного, представлено в табл. 1-4.

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 застроены практически все сейсмические сектора, начиная от центральной до периферийских частей г. Грозного по всем направлениям. Однако, если в центре города жилые здания типа Б и В по сейсмостойкости перебегаются с постройками более высокой сейсмостойкости, то ближе к периферии несейсмостойкие здания преобладают, занимая от 80 до 100% территории.

Исследования составляют северная и восточная части города (Старопромышленный 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 (Ленинский район), так и в его юго-восточной части (Октябрьский район).

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

Распределение жилых, общественных и основных промышленных и коммунальных зданий (и заполняющих их людей) по административным районам г. Грозного

Административный район	Тот. сейсмостойкости	Балансовая стоимость зданий, млрд. руб. (на 1.01.95 г.)		Количество людей, тыс. чел.	
		жилая застройка	общественная, коммунальная и промышленная застройки	жители	работники, занятые в промышленности и социально-общественной сфере, учащихся
1. Индустриально-жил.	В*	295,77	353	19,3	19,0
	В	319,42	94,89	27,2	3,3
	Г*	—	232,64	—	19,0
	Г	107,58	15,50	26,2	6,8
	ИТОГО:	823,47	383,71	72,7	25,7
2. Жилой сект.	В*	534,17	11,54	49,3	0,7
	В	226,53	67,41	19,3	3,4
	Г*	—	797,71	—	13,8
	Г	132,60	26,77	35,4	1,0
	ИТОГО:	690,14	—	58,0	—
3. Жилой сект.	В*	396,76	—	39,7	—
	В	288,44	636,47	21,6	7,5
	Г*	—	756,31	—	7,2
	Г	38,90	138,10	3,7	3,3
	ИТОГО:	823,90	1600,51	67,6	28,0
4. Общественный сект.	В*	169,44	—	26,1	—
	В	292,09	—	23,2	—
	Г*	—	115,67	—	17,0
	Г	164,72	42,97	42,37	9,7
	ИТОГО:	418,25	158,64	97,1	26,7
ВСЕГО:		4599,26	3241,30	399,4	180,1

Примечание:

* Количество жителей (или другой показатель) жилищной застройки в соответствующем секторе (или секторе) не учитывается.

Г* — здания типа А, присутствующие в исследуемых количествах.

Тысячи В и Г — здания «сталин» (см. приложение 2Б).

1.4. Карты сейсмических рисков

1.4.1. Исходные материалы для построения карт

Исходный сейсмический риск территории г. Грозного определяется уровнем экономического кризиса и индивидуальными сейсмическими рисками. С помощью рассмотренной выше методики оценки общего уровня 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:

- данные о величине исходного балла и вероятности произошедших землетрясений;
- 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 позволил принять в качестве основных исходных данных следующие:

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

- 2) Средние периоды повторности 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 сейсмоопасной территории г. Грозного распределяются в соответствии с табл. 1.3 (см. ч. II, раз. 3.3).
- 4) Техно-экономические характеристики зданий приведены 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 адм. района)		
	7 баллов	8 баллов	9 баллов
А. Северо-мещетская (секторы 8, 10-12)	0	10	90
Б. Центральная (секторы 1-4, 6-7)	10	90	10
В. Западная (секторы 9, 11-20, 201)	25	75	0
Г. Октябрьский (секторы 17-22, 205)	20	5	75

1.4.2. Схематические карты экономического и социального ущерба

Карты удельного экономического ущерба отражают распределение экономического потерь на 1 гектар по территории города при прогнозируемых землетрясениях интенсивностью 7 и 8 баллов (на «средних» грунтах).

Экономический ущерб на предлагаемых картах (рис. 1.1; 1.2) выражен в миллионах рублей, которые необходимо затратить на восстановление зданий после землетрясения интенсивностью в 7 и 8 баллов. Приведенные цифры, как отмечалось выше, отражают только прямой экономический ущерб при возмещении 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 удельного ущерба отражают не только распределение этих потерь по площади города, но и позволяют судить о суммарных значениях ущерба от землетрясений различной балльности. Вычисленные ранее (в показателе, что суммарный экономический ущерб для г. Грозного при пятибалльном землетрясении составит около 200 млрд. рублей; при шестибалльном землетрясении — 900 млрд. рублей; при семибалльном — 2200 млрд. рублей; при восьмибалльном землетрясении ущерб увеличится до 4300 млрд. рублей).

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

На рис. 1.3 и 1.4 представлены схематические карты социального ущерба при прогнозируемых землетрясениях интенсивностью 7 и 8 баллов (на «средних» грунтах). В данном случае это количество жителей города, которые могут погибнуть при повреждении или разрушении зданий по время землетрясения соответствующей интенсивности на 1 гектаре городской территории. Максимальные значения этого показателя (до 5 чел. на 1 га) отмечаются в районе Чурьяева, где существуют плотная и малоэтажная застройка попадает на участки с неблагоприятными сейсмическими условиями.

Интегрируя оценку общего числа погибших жителей при прогнозируемых землетрясениях по данным ориентировочным расчетам можно получить: 7 баллов — около 3 тыс. человек; 8 баллов — около 11 тыс. человек.

Приведенные расчеты человеческих потерь основаны на данных обследования последствий уже произошедших сильных землетрясений. Вместе с тем, необходимо отметить, что исходных статистических данных, позволяющих судить о бедственности землетрясения, типе застройки и количестве пострадавших в настоящее время явно недостаточно для получения надежных выводов. В связи с этим приведенные оценки носят ориентировочный характер и могут изменяться в зависимости от времени суток, времени года, когда произошло землетрясение, качества строительных работ и других факторов. Приведенные цифры социального ущерба получены исходя из численности населения г. Грозного в 350-400 тыс. жителей.

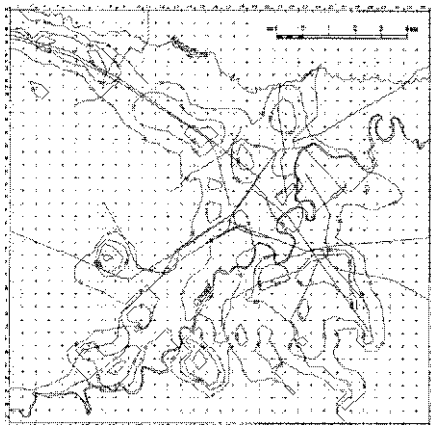


Рис. 1.1. Схематическая карта проектируемого акватории озера Братского. Братского при 7-бедном уровне воды, м.

1 — планировка проектируемого участка с проекцией дна и 1 млн рублей за 1 га старинной территории в гектарах 131,250;

2 — линия основного транспортного маршрута.

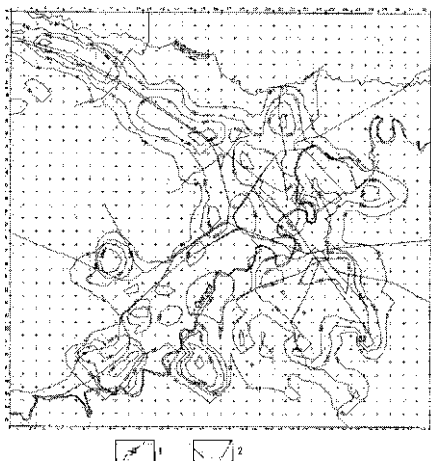


Рис. 1.2. Схематическая карта проектируемого акватории озера Братского. Братского при 6-бедном уровне воды (в гектарах 131,250).

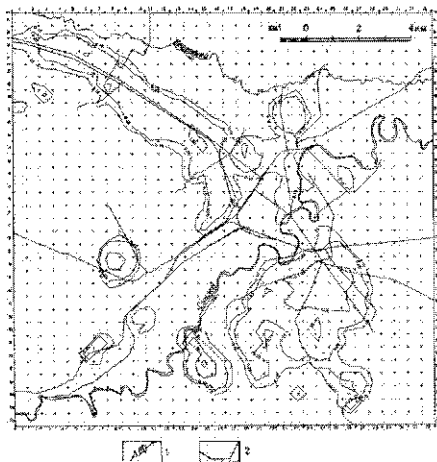


Рис. 1.3. Схематическая карта среднего индивидуального ущерба для 7-бальной степени повреждения. 1 — исключены повреждения от дождевого ущерба — количество повреждений в единицу времени на 1 квадрат километр территории; 2 — линии изолиний транспортной магистралей с. Промышленности

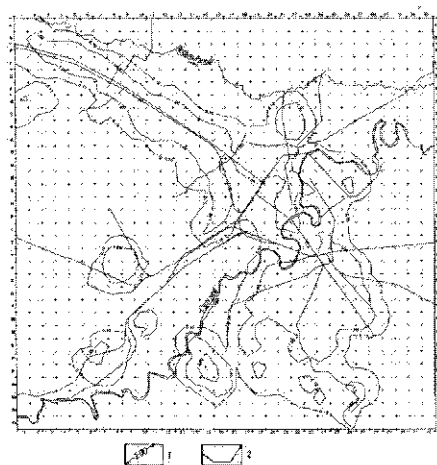


Рис. 1.4. Схематическая карта среднего индивидуального ущерба для 8-бальной степени повреждения (исключены повреждения от дождевого ущерба — см. рис. 1.3)

1.4.3. Карта экономического сейсмического риска

Сейсмический экономический риск при построении карты (рис. 1.5) рассчитывался на единицу площади в единицу времени и по существу представляет собой удельный экономический риск, определяемый вероятным ущербом в рублях в течение 1 года на площади 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) большой 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 достаточно широким спектром стоимости сейсмостойкости зданий жилой, общественной, промышленной и коммунальной застройки, неравномерностью расположения зданий с разной сейсмической близостью.

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

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

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

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

Зоны с исключительно большим риском выделяется в виде фрагментарных островных участков, охватывает до 15% территории центральной части застройки практически во всех административных районах города. Наибольшие по площади участки с исключительно большим риском выделяются в Старопромысловском и Октябрьском районах. Они обусловлены преобладанием здесь неустойчивых зданий (категорий Б — В), размещенных в неблагоприятной сейсмической зоне с максимальной сейсмической интенсивностью 9 баллов.

Максимальные значения сейсмического экономического риска, достигающие 25 млн. руб./га.год и более, отмечаются в районе Черепячьей и Андреевской Долины (Октябрьский адм. район), где имеется достаточно плотная малосейсмостойкая малоэтажная застройка, расположенная на участках с неблагоприятными сейсмогеологическими условиями в зонах с 9-балловой сейсмичностью.

1.4.4. Карта индивидуального сейсмического риска

Величина индивидуального риска (рис. 1.6), подобно экономическому, 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. Сулак) и участки относительно сейсмостойкой дискриминальной жилой застройки на территориях с благоприятными и средними геологическими условиями, где локальная сейсмичность на карте сейсмического микрозонирования 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.

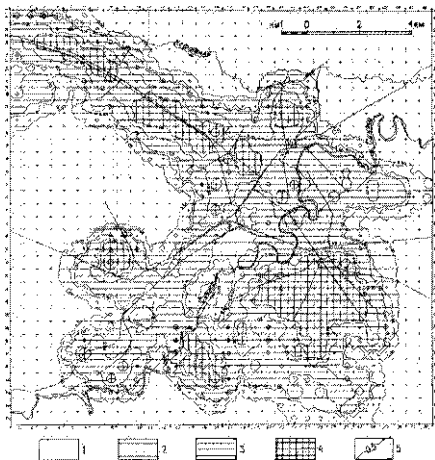


Рис. 1.5. Схематическая карта среднего урожайного сельскохозяйственного риса на территории Печорского Л. 4. Урожайный уровень среднего сельскохозяйственного риса (в т/га): 0.10-0.15)

1 - малый, средний и средний (объемный), $R_{\text{ср}} \leq 0.05$ млн руб./га - год;
2 - средний, $0.05 < R_{\text{ср}} \leq 0.10$ млн руб./га - год;
3 - средний, $0.10 < R_{\text{ср}} \leq 0.15$ млн руб./га - год;
4 - средний, $0.15 < R_{\text{ср}} \leq 0.20$ млн руб./га - год;
5 - средний, $0.20 < R_{\text{ср}} \leq 0.25$ млн руб./га - год.

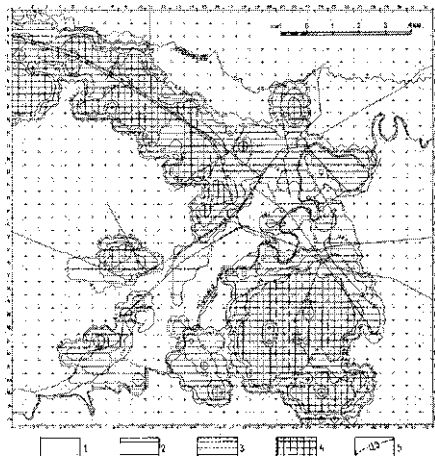


Рис. 1.6. Схематическая карта среднего урожайного сельскохозяйственного риса на территории Печорского Л. 4. Урожайный уровень среднего сельскохозяйственного риса:

1 - малый и средний урожай (объемный), $0.05 < R_{\text{ср}} \leq 0.10$ млн руб./га - год;
2 - средний, $0.10 < R_{\text{ср}} \leq 0.15$ млн руб./га - год;
3 - средний, $0.15 < R_{\text{ср}} \leq 0.20$ млн руб./га - год;
4 - средний, $0.20 < R_{\text{ср}} \leq 0.25$ млн руб./га - год;
5 - средний, $0.25 < R_{\text{ср}} \leq 0.30$ млн руб./га - год.

Распределение повышенных значений сейсмического индивидуального риска на исследуемой территории в целом отражает особенности распределения жилой застройки в г. Грозном. Наиболее обширные участки с очень большим индивидуальным риском отмечаются в Старопромысловском, Заводском и Октябрьском районах. Все эти участки характеризуются сочетанием малосейсмостойкости жилой застройки и дефицитной сейсмичностью.

Выполненные работы по оценке и картированию экономического и индивидуального сейсмических рисков г. Грозного 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 *экстремально большим* сейсмоэкономическим риском, как правило, характеризуются плотной малосейсмостойкой застройкой в сочетании с неблагоприятными грунтовыми условиями, в соответствии с которыми эти участки относятся к 9-бальной зоне.

Использованная методика картирования сейсмического риска, при которой сейсмический риск выражается в унифицированных единицах вероятного суммарного ущерба на единицу площади за единицу времени или вероятности гибели отдельного человека за единицу времени, позволяет сопоставлять 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 (оценках) таких рисков легко может быть определена величина суммарного риска от всех опасных геологических процессов.

Что касается индивидуального сейсмического риска, то он в пределах города изменяется от *малого и небольшого* уровня (менее $3,3 \times 10^{-4}$ чел./год) до *очень большого* уровня — более 10 чел./год. В целом, интервал изменения величины индивидуального сейсмического риска более узок, чем для сейсмоэкономического риска, т.к. в данном случае отсутствует зона с *экстремально большим* риском.

В целом, построенные карты сейсмического риска г. Грозного дают наглядное представление об адекватности застройки различных частей города реальным 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 постоянная программа целенаправленного снижения сейсмического риска до приемлемого уровня и повышения сейсмической безопасности города.

2. ОПЫТ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ С УЧЕТОМ ВОЕННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ ОТ ПРОГНОЗНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

На территории Грозного имеются несколько типов жилой застройки. Это — дома различных европейских генераций, с разными сейсмостойкостью и конструктивными особенностями. Охарактеризуем эти типы кратко:

- 1 — одноэтажные кирпичные жилые дома с черепичными крышами без антисейсмических усилений (тип Б по шкале MSK-64).
- 2 — те же, но с каменными стенами облицованными снаружи кирпичом (тип А).
- 3 — 5-этажные здания довоенной, послевоенной и послевоенной постройки. Стены из красного кирпича на известковом растворе, перекрытия деревянные, без антисейсмических усилений (тип Б).
- 4 — 3-5-этажные здания 60-х годов постройки с кирпичными стенами на цементном растворе и железобетонными перекрытиями без антисейсмических усилений (тип Б).
- 5 — сейсмостойкие 5-этажные кирпичные дома серии 67 (КиевЗНИИЭП). 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 (ДНИИЭП Жилища). Сейсмостойкость — 8 баллов.

- 8 — каркасно-панельные 9–13-этажные жилые дома с равно-связевой системой серии ИИС-04 (железобетонные рамы из H-образных элементов), стены выходящие керамзитобетонные или кирпичные с наружным оштукатуриванием на выпуск перекрестий (Гриднефлексмикролит). Расчетная сейсмичность — 7 баллов. По опыту СпбГАСского землетрясения здания нуждаются в тщательном анализе проектных решений.
- 9 — крупноблочные 9–13-этажные жилые дома, введенные в эксплуатацию строителями после землетрясения 1975 г. Сейсмостойкость — 7 баллов.
- 10 — 9-этажные кирпичные дома с монолитным железобетонным каркасом («Гриднефлекс-строй»). Расчетная сейсмичность — 7 баллов.
- 11 — многоквартирные (4–10 этажей) каркасно-панельные здания с конструкциями серии ИИС-04 (Таган-31 ИИС-04). Расчетная сейсмичность — 7 баллов.
- 12 — здания жилищной этажности с железобетонным каркасом «соединского» типа из литых элементов с монолитными узлами. Расчетная сейсмичность — 7 баллов.

Таким образом, в пределах городской территории выделены ряд типов застройки, распределенных нами по 167 структурно-функциональным зонам — выделам, характеризующимся сравнительно однородной застройкой. Карты с границами выделов и их подробной характеристикой имеются в архивах Института литофизики и Мэрия города. 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 локальный уровень организации геологической среды города — инженерно-геологический масштаб или совокупность масштабов.

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

- 1) пространственная локализация застройки с определенными обликотом и свойствами;
- 2) включение преимущественной части этой застройки (за исключением отдельных выделений) в одну строительную подгруппу генерации;
- 3) однородность основной части выделенной застройки по этажности;
- 4) отличительная однородность конструктивных решений и сейсмостойкости зданий, составляющих эту застройку.

На балансе 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 систематич. наблюдений).

В составе частей малоэтажной застройки выделяются жилые дома с несущими стенами из кирпича, обожженного снаружи кирпичом (т.е. «пожирничка»). Эти дома сейсмостойкостью не обладают. Саманная застройка распространена в восточной, приханкавинской части города (северо-восточнее Гудермесского шоссе), в южной части города, между ул. Ленина и Павла Мусорова на низких приулиценных террасах, северо-западнее ул. Орджоникидзе, в составе малоэтажной старой застройки севернее микрорайона Иннополис, в районе ул. Первомайской и др.

В перечисленных зонах, содержащих значительную или преобладающую примесь саманных домов, ущерб может быть наиболее значительным. Саманная застройка относится нами к типу А по шкале МСК-04 (А₂). Насколько правомерно отнесение к типу А всей одноэтажной застройки и предельно существующих «саманных» выделов? Здесь следует указать на 2 обстоятельства: 1) в основном, застройка в пределах «саманных» выделов относится к первым строительным поколениям и, следовательно, более амортизирована; 2) разрушение саманной застройки в составе общей малоэтажной застройки с значительно большей вероятностью может привести к образованию дыр, перекрывающих проезды и проходы, к возникновению пожаров и т.д., т.е. к увеличению ущерба.

В составе малоэтажной застройки первых генераций содержится малоэтажная примесь более поздних многоэтажных зданий. Однако многоэтажная застройка в составе малоэтажной в основном носит разбросанный характер, поэтому в большинстве случаев при территориальных оценках сейсмостойкости соответствующих выделов можно оценивать по типу наиболее распространенных домов.

Новая строительная генерация включает малоэтажную застройку, введенную после 60-х годов. Это — здания примерно «липового» качества, с несущими стенами из каменной кладки. К второй генерации относятся и так называемая «амфибийная» застройка, представляющая собой сочетание и соседствующих проектов.

Поскольку архивы БТИ города и Чеченгражданпроект были уничтожены пожарами, плановыми при обследовании, общая жилая площадь определяется нами с помощью архивных данных Московского Гипрогора, анализа карт города, в т.ч. плановых и дерективных фотокарт, подготовленных нами в апреле 1995 г. Величины N_d были приняты по укрупненным показателям стоимости для Грозного (из отчетов Московского Гипрогора).

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

$$R_i = \sum K_d \cdot N_{di}$$

где

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

K_d — ущерб для зданий со степенью повреждения в долях от первоначальной стоимости;

N_{di} — число зданий со степенью повреждения d в долях от общего числа зданий i -й группы;

$K_d \cdot N_{di}$ — 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: A_i (саманная), B_{ki} — кирпичные малоэтажные и кирпичные многоэтажные без сейсмического усиления, 7_{ki} — кирпичные с сейсмическим усилением и крупноблочные, 7_{ki} — крупнопанельные серии 1-464, 8_{ki} — крупнопанельные 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 в преобладающей застройке другого типа, при площадных оценках 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, арсала распространения мощных лессовых пород), север-а также в южной части города.

Схема дефицита сейсмостойкости¹¹, построенная по разностям между сейсмичностью участков и расчетной сейсмостойкостью зданий, в целом, как и следовало ожидать, подтверждает 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. Наибольшим средним дефицитом сейсмостойкости характеризуется ряд территорий северо-запада, ювера (в меньшей части) и юга. Наличие схем потенциального ущерба и дефицита сейсмостойкости позволит более рационально составить новый генплан города, проекты застройки и детальной планировки, более надежно разместить проектируемые ответственные сооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые для территории г. Грозного в сжатые сроки был выполнен комплекс взаимосвязанных исследований, позволивший получить наиболее полную информацию не только о сейсмической опасности, но и дать дифференцированную 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 семibalльных землетрясений средние периоды повторемости 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 специфические характеристики прогно-

¹¹ Числовой шкалы не существует, поэтому.

лируемых сейсмических воздействий с учетом строения геологического разреза, сейсмических свойств грунтов и т.д.

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

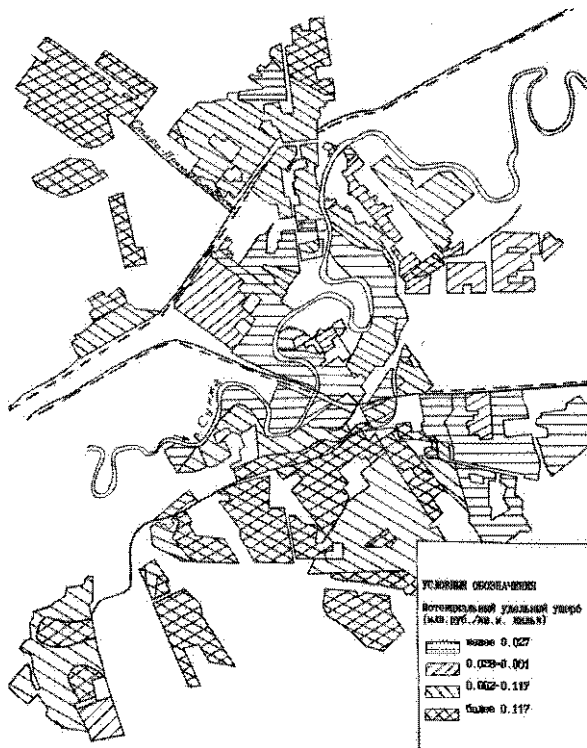


Рис. 2. Схематическая карта возможного ущерба жилой застройке в Грозном от прогнозируемого землетрясения магнитудой 5,0-6,0 (данные Г.П. Корфа [1], А.М. Гасиева, М.В. Караганова)

ЛИТЕРАТУРА

Часть I
Раздел 1.1

1. Мудавский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа — М.: Недра, 1968.
2. Дотдусов С.И. О покровном строении Большого Кавказа // Тектоноложика. 1986, № 3.
3. Душан П.В. Некоторые черты неотектонической структуры Большого Кавказа // Бюлл. КИУП. 1983, № 52, с. 29—41.
4. Костенко Н.П. Развитие складчатых и разрывных деформаций в орогенном рельефе — М.: Недра, 1972.
5. Несмеянов С.А. Качественная оценка новейших движений и неотектоническое районирование торной области — М.: Недра, 1971.
6. Чедия О.К. Моноклистура и новейший тектогенез Тянь-Шаня — Фрунзе: Илим, 1986.
7. Несмеянов С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа — М.: Недра, 1992.
8. Несмеянов С.А., Воейкова О.А. Новые данные о типах наиболее молодых новейших структур Восточного Дагестана // Доклады РАН, 1994, т. 338, № 3, с. 365—367.
9. Дотдусов 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., Воейкова О.А., Галкин В.А. и др. Типы новейших структур Урала // Бюлл. МОИП, отдел геологии, 1993, т. 68, в. 1.
12. Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа — М.: Наука, 1991.
13. Мирзоев Д.А., Шарфутдин Ф.Г. Геология месторождений нефти и газа Дагестана — Махачкала: Даг. вт. изд-во, 1986, с. 312.
14. Брод Н.О., Полстер Л.А., Несмеянов Д.В. Постструктурное районирование и перспективы перетектоногенности Предкавказья // Прил. к журн. Геология нефти и газа, 1958, № 8, с. 31—63.
15. Соборнов К.О. Подвижные зоны нефтегазоаккумуляции — новый объект поиска нефти и газа в Предгорном Дагестане // Геология нефти и газа, 1988, № 2, с. 8—12.
16. Юров Ю.И. Строение земной коры на Кавказе и югозапад // Сов. геол., 1963, № 9.
17. Якушина А.Ф., Сизаев Н.А., Чистяков А.А. Методика и результаты структурно-геоморфологических исследований в Восточном Предкавказье и Северо-Западном Прикаспии // Структурно-геоморфологические исследования в Прикаспии (Сб. мат. КИУП, в. 7) — М.: Гостехиздат, 1962.
18. Буньков М.С. Развитие структурных форм Терско-Сулейманской области // Тр. КЮГЭ, в. 6 — М.: Гостехиздат, 1961, с. 7—103.
19. Крылов В.П. О некоторых особенностях структурного соотношения третичных и мезозойских отложений Терско-Сулейманской нефтегазоносной области // Изв. ВУЗ, Нефть и газ, 1960, № 11, с. 19—23.
20. Жемеричко М.И. Типы складчатых движений Передовых хребтов Предкавказья // Изв. ВУЗ, Геол. и разн., 1964, № 5.
21. Шемченко В.И. История развития и механизм формирования тектонических дислокаций на территории Осетии (Центральный Кавказ) — Автореф. канд. дисс. — МГУ, 1964.
22. Панина Л.В. Формирование структуры центральной части Терско-Каспийского передового прогиба (Терско-Сулейманская нефтегазоносная область) // Тектоника и формирования Большого Кавказа — М.: Наука, 1988, с. 58—77.
23. Смирнова М.Н., Бржакин В.М. Проблема глубинной тектоники Терско-Каспийского красного прогиба // Тектоника и формирования Большого Кавказа — М.: Наука, 1989, с. 78—90.
24. Короповский П.В., Кожеников А.В., Натан Д.И. и др. История геологического развития и формирования структуры центральной части Терско-Каспийского передового прогиба // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа — М.: Наука, 1987, с. 147—174.
25. Стануц В.А., Худяков В.Ф. Некоторые проблемные вопросы геологии и нефтеносности Терско-Сулейманского района (Северный Кавказ, Терско-Каспийский красный прогиб) // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа — М.: Наука, 1987, с. 246—254.

26. Жемаритко М.И. Об образовании надкрупнооблачной складчатости в Чечено-Ингушетии // Изв. ВУЗ. Геология и разведка, 1981, № 86, с. 23-27.
27. Смирнов М.Н. О антропогенном строении доюрского основания Терско-Каспийского прогиба // Изв. ВУЗ. Геология и разведка, 1974, № 3, с. 10-18.
28. Смирнов М.Н., Студусов Н.А., Яковлева Т.В. Рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ и новые данные о глубинном строении Терско-Сунженского прогиба // Труды Грозненский районский, 1967, с. 42.
29. Бражник В.М. О методике геологической интерпретации гравиметрических данных при изучении глубинного строения Дагестанского клина // Сейсмичность и гидрогеологические территории Дагестана, в. 2 - Махачкала: Изд-во Даг. ФАН СССР, 1978, с. 195-200.
30. Тадалаев В.Ф., Бражник В.М., Чуприн В.В., Тадалаев С.Г. О соотношении доюрского основания и вышележащих комплексов осадочного чехла Терско-Каспийского прогиба // Геология и нефтегазовоспособности Северо-Восточного Кавказа (Тр. Сед.Кав. ГИИ Нефть, вып. 41) - Грозный, 1984, с. 66-70.
31. Короновский И.В., Гушия А.И., Никитин М.Ю. и др. Геологическое развитие и становление структурной структуры Терско-Каспийского передового прогиба // Тектоника орогенных сооружений Кавказа и Средней Азии - М.: Наука, 1990, с. 4-35.
32. Касьянова И.А. Форма проявления неотектонизма в Восточном Предкавказье - М.: Недра, 1993.
33. Никитин М.Ю., Беляков Г.А. Речные террасы р. Терек и неотектоника северного склона Терско-го хребта // Бюлл. МОИП, отдел геологии, 1994, т. 69, в. 5, с. 34-45.
34. Козловский А.В. Террасы р. Сулак в предгорьях Кавказа // Вопросы региональной тектоники СССР - М.: Изд-во МГУ, 1964, с. 126-134.
35. Козловский А.В., Никитин М.Ю. Андрозовия долины реки Сулака на северном Кавказе // Бюлл. МОИП, отдел геологии, 1977, т. 52, в. 3, с. 26-44.
36. Никитин М.Ю. Речные террасы и новейшая тектоника Горного Дагестана (бассейн р. Сулака) // Бюлл. МОИП, отдел геологии, 1979, т. 54, в. 5, с. 88-104.
37. Шатский И.С. Геологическое строение восточной части Черных гор и нефтяные месторождения Мизина и Далам (Северный Дагестан) // Тр. Гос. и нефт. ин-та, в. 4, 1928.
38. Варданов С.П., Корнев В.А. Новые данные о геологическом строении Северного Кавказа // ДАН СССР, т. 136, № 5, 1961.
39. Цигарели А.Р. Четвертичная тектоника Грузии // XII сессия МГК, доклады сов. геологов (проблема 11) - М.: Недра, 1964.
40. Растворова В.А., Шербилова Е.М. Поднятие Центрального Кавказа за последние и предпоследние века // Современные движения земной коры, № 1 - М.: Изд-во АН СССР, 1963.
41. Макаровский О.В. О строении Главного нагорья Абхазии по геофизическим данным // ИАН СССР, сер. геол., 1984, № 10, с. 71-73.
42. Расцеласи Л.М. Тектонодинамические условия формирования альпийской структуры Большого Кавказа // Геология и коллективные ископаемые Большого Кавказа - М.: Наука, 1987, с. 69-96.
43. Шевченко В.Н. Происхождение структур горизонтального сжатия в складчатом спорузении (на примере Большого Кавказа) - М.: Наука, 1984, т. 160.
44. Вахидия Е.К. Тектоника нефтеносных районов Рачи и Южной Осетии // Бюлл. Грознефть, № 1(1) - Тбилиси, 1949.
45. Вахидия Е.К. Геологическое строение Ленхуми // Тр. Груз. политех. ин-та им. Кирова, № 3 (41), 1956.
46. Гамкредидзе И.Н. Строение северного крыла Рачинско-Ленхумской синклинали. Автореферат дисс. канд. наук. ИГиЛ Груз.ССР - Тбилиси, 1963.
47. Репартер В.П. Тектоника Большого Кавказа // Геология СССР, т. 1, вып. 4, 1941.
48. Восточный И.В. Краткий геологический очерк Джавского района Юго-Осетии // Промышленные силы Юго-Осетии, сб. II, Труды СОИС изд. АН СССР, сер. Закавказская, в. 4, 1932.
49. Гамкредидзе П.Д., Гамкредидзе И.Н. Тектоногенные поземки восточной флюиды Большого Кавказа (в пределах Грузии) - Тбилиси: Металлургия, 1977, с. 82.
50. Масурчакян Ю.П. Кайнозойский вулканизм Эльбурской вулканической области // Тр. ИГиЛ, 1961, в. 51.
51. Репартер В.П. Геологический очерк Военно-Грузинской дороги // Тр. ВГО, 1932, в. 6.

1. Аггикаев Ф.В., Ибрагимов Р.Н., Клауф В.Н. и др. Митотические реконструкции по детальному сейсмическому районированию. Проект // Вопросы инженерной сейсмологии. 1986, в. 27, с. 184-212.
2. Несмеянов С.А. Геологические соображения о типах очагов коровых землетрясений // Вопросы инженерной сейсмологии. 1984, в. 25, с. 107-119.
3. Бархатов И.И., Несмеянов С.А., Шмидт Г.А. Геолого-геофизические материалы для выделения сейсмогенерирующих структур Северо-Западного Кавказа и смежных областей // Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. — М.: Наука, 1991, с. 34-80.
4. Короновский Н.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. 147-174.
5. Вишневский Д.Е., Панина Л.В. Палеотектонические аспекты формирования верховских карбонатных и мигрированных толщ Терско-Каспийского прогиба // Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. М.: Наука, 1987, с. 175-190.
6. Короновский Н.В., Гушин А.И., Никитин М.Ю. и др. Геологическое развитие и становление современной структуры Терско-Каспийского передового прогиба // Тектоника восточных сооружений Кавказа и Средней Азии. М.: Наука, 1990, с. 4-35.
7. Бюзякин В.М., Габасатова И.И., Захарова А.И. и др. Землетрясение 3.08.1989 на Северном Кавказе // Землетрясения в СССР в 1989 г. М.: Наука, с. 32-41.
8. Краснолещева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного района // М.: Наука, 1984, с. 108.
9. Тапалаев В.Д., Бражник В.М., Чуприн В.В., Дажиев С.Г. О соотношении доюрского основания и выходящих комплексов осадочного чехла Терско-Каспийского прогиба // Геология и нефтегазосность Северо-Восточного Кавказа. Тр. СевКавНИПИнефть. Вып. 41, Грозный, 1984, с. 66-70.
10. Шолов В.П., Ротштейн Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. М.: Наука, 1991, с. 192.
11. Пихмелов А.Г. О глубинном выражении Главного Кавказского вала // Геотектоника. 1978, № 6, с. 57-65.
12. Редков Н.А., Шевченко В.И. Строение и история развития Кавказского сектора Средиземноморского пояса. Современные тектонические концепции // Тектоника Средиземноморского пояса. М.: Наука, 1980, с. 160-189.
13. Соборов К.О. Формирование складчато-подвижной структуры Дагестанского клина // Геотектоника. 1991, № 3, с. 34-46.
14. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, с. 483.
15. О инвертной сети СССР — М.: Недра, 1979, с. 140.
16. Сидоров В.А., Атаманян С.В., Габасатова М.В. и др. Современные движения земной коры и нефтегазосность (на примере Терско-Каспийского передового прогиба) — М.: Наука, 1987, с. 116.
17. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. — М., 1989, с. 183.

Разделы 2-4

1. Абдиев Е.Г., Антонов В.В., Габасатова И.П. и др. Землетрясения 4 марта на Северном Кавказе. Сб. Землетрясения в СССР в 1984 г., с. 35-44.
2. Агаджанова Э.Б., Гасанов А.Г., Гадакян Э.Г. и др. Землетрясения Кавказа: Сб. Землетрясения в СССР в 1985 г., с. 60-75.
3. Али К., Ричардс П. Количественная сейсмология. М.: МИР, 1983, т. 1 и 2.
4. Атаманян И.В. Аргунское землетрясение 2 марта 1966 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1966 г., с. 35-43.
5. Атаманян И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. М.: Наука, 1977.

6. Антикаев Ф.Ф., Ибрагимов Р.Н., Кнауф В.Н. и др. Методические рекомендации по детальному сейсмическому районированию. (Проект). Вопросы инженерной сейсмологии. 1986, в. 27, с. 184 - 212.
7. Арефьев С.С., Асманов О.А., Дейнега А.Г. и др. Количественные характеристики сейсмичности Дагестана. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. М.: Наука, 1980, с. 10 - 16.
8. Арефьев С.С., Шибалин П.В. Оценка уровня скученности (сейстерности) землетрясений Кавказа. Докл. АН СССР, 1988, т. 298, № 6, с. 1349 - 1352.
9. Арефьев С.С. О картировании основных параметров сейсмического режима. Вопросы инженерной сейсмологии, 1989, в. 30, с. 4 - 14.
10. Артемьев М.Е. Карта иностатических аномалий силы тяжести. М., 1972. Масштаб 1: 2500000. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
11. Асманов О.А., Идармаев П.Т., Левкович Р.А. Чиркейское землетрясение 8 июня 1972 г. Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа. Январь - июнь 1973 г. - Метеперебас, Тбилиси, 1974 г., с. 295 - 208.
12. Асманов О.А., Арефьев С.С., Идармаев П.Т. и др. Божийское землетрясение 4 августа 1974 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1975 г., с. 31 - 35.
13. Асманов О.А., Арефьев С.С., Капаров С.А. и др. Кизилдыкское землетрясение 13 ноября 1974 г. в Дагестане. Сб. Землетрясения в СССР в 1975 г., с. 36 - 42.
14. Асманов О.А., Арефьев С.С., Идармаев П.Т. и др. Салтауское землетрясение 23 декабря 1974 г. в Дагестане. Сб. Землетрясения в СССР в 1975 г., с. 43 - 52.
15. Балакина Л.М., Захарова А.И., Мовшвилл А.Е., Чепкунас Л.С. Исследование механизмов очагов сильных коровых землетрясений Северной Евразии 1927 - 1991 г. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М., 1993 г. Вып. 1.
16. Бочаркин Б.М., Габбатаева И.П., 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., Дылатина Н.Н. Карта глубинных аномалий силы тяжести. М., ВНИИГеофизика, 1973. Масштаб 1: 1000000. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
18. Буев В.И., Подкожев Л.П. Уточнение данных о магнитуде землетрясений Кавказа за 1931 - 1940 гг. Методические рекомендации по сейсмическому районированию территории СССР. М.: ИФЗ АН СССР, 1974, с. 104 - 123.
19. Бюллетень МОИП. Серия геофизия 1977 г., в. 52, вып. 4, с. 78 - 84.
20. Габбатаева И.П., Захарова А.И., Старовойт О.Е. и др. Каталог Речинского землетрясения 29 апреля 1991 г. и его эпицентра (по данным региональных сейсмических станций). Обнинск, 1992 г. (Препринт).
21. Габбатаева И.П., Захарова А.И., Старовойт О.Е. Региональный каталог землетрясений Северного Кавказа, ОМЗС РАН г. Обнинск, 1995 г.
22. Гамбурцев Г.А. Секционные и перспективные работы в области прогноза землетрясений. Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР, 1955, № 1, с. 7 - 16.
23. Гептермическая карта Северной Евразии. Отв. ред. Смирнов Я.Б. Масштаб 1: 5000000. М.: ИИИ АН СССР, 1986. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
24. Горшков Г.Н. Региональная сейсмостойкость территории юга СССР. Альпийский пояс. М., Наука, 1984.
25. Гравиметрическая карта СССР (редукция Буге). Гл. ред. Сажица П.Б. Масштаб 1: 200000. М., Мингео и охраны недр, ВНИИГеофизика, 1975. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
26. Губин И.Е. О детально сейсмическом районировании. Детальное сейсмическое районирование - М.: Наука, 1989.
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 БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
29. Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии с древнейших времен до 1990 г. Под ред. В.И. Удолова и П.В. Колдыковой. ОИФЗ РАН, апрель 1993 г.
30. Красноватенко Г.В. Глубинное строение кавказской сейсмически активной рёшона. М.: Наука, 1984, с. 108.

31. Крашенинникова Г.В. Карта рельефа поверхности Мамгулягичи. М.: ВНИИГеофизика, 1963. Масштаб 1:2500000. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
32. Ломоносов Е.А., Асманов О.А., Крамышев Н.Н. и др. Буйнакское землетрясение 9 января 1975 г. Сейсмологический бюллетень Кавказа 1975 г. «Мешинереба», Тбилиси, 1976 г., с. 171-192.
33. Лутиков А.И., Чебокаева Е.В. Сейсмический режим южной части Северо-Западного Кавказа. Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. М.: Наука, 1991, с. 81-98.
34. Малийцева В.В., Смирнова М.Н., Брожик В.М. Землетрясения 1950-1955 гг. в районе нефтяного месторождения Гудермес. Сейсмологический бюллетень Кавказа 1976 г. «Мешинереба», Тбилиси, 1979 г., с. 210-222.
35. Материалы по сейсмическому районированию Северо-Западного Кавказа. — М.: Наука, 1991.
36. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. — М.: Недра, 1968.
37. Несмеянов С.А. Количественная оценка последних движений и неотектоническое районирование горной области. М.: Недра, 1971.
38. Несмеянов С.А., Куратов И.Н. Новейшие и сейсмогенерирующие структура Западного Кавказа-Аллы. — М.: Наука, 1978.
39. Несмеянов С.А. Геометрические соображения о типах залегания коровых землетрясений. Вопросы инженерной сейсмологии, 1984, т. 23.
40. Несмеянов С.А. Неотектоническое районирование Северо-Западного Кавказа. — М.: Недра, 1992.
41. Циклиотис М.Ю., Никонов А.А., Болотов С.Н., Беляков Г.А. Палеосейсмическая карта в бассейне р. Арарик и их значение для оценки сейсмического потенциала Большого Кавказа (ДАН), 1993, с. 230, № 6, с. 740-744.
42. Никонов А.А. Максимальные наблюдаемые сотрясения Северного Кавказа. Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. М., 1994, № 3, с. 31-34.
43. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977, с. 533.
44. Панашишвили В.Г., Кулиев Ф.Т., Алимраев О.Х. Тарасинское землетрясение 26 мая 1978 г. Сейсмологический бюллетень Кавказа 1979 г. Тбилиси, 1982 г. с. 209-214.
45. Панашишвили В.Г., Алимраев Р.А., Алимраев С.Р. и др. Землетрясения Кавказа. Сб. Землетрясения в СССР в 1981 г., с. 19-26.
46. Панашишвили В.Г., Голосадов Т.Н., Исмаилов М.С. и др. Ташкентское землетрясение 23 февраля 1981 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1981 г., с. 26-30.
47. Петруновский В.А. Значение геологических явлений при сейсмическом районировании. — М.: Изд-во АН СССР, 1955.
48. Рейстер Г.Н., Иогансон Л.Н., Рейстер М.Г., Баранов Ю.Е. Типизация земной коры и современные геодинамические процессы. М.: Институт физики Земли РАН, 1993, с. 210.
49. Рязанцев Ю.Н. Об изучении сейсмического режима. Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 9, с. 1057-1074.
50. Рязанцев Ю.Н., Дембладзе Э.А. Сейсмическая активность и большие землетрясения Кавказа. Изв. АН СССР. Физика Земли, 1972, № 1, с. 35-49.
51. Сейсмическая сотрясаемость 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. Сейсмическая территория Узбекистана (Сейсмологические аспекты). Усманов Р.Н., Катренко В.Г., Яковлева И.Б. и др. Ташкент, «Фан», 1990, с. 34.
55. Семов В.Н., Андреев Л.Н. Карта рельефа поверхности консолидированного фундамента. М.: 1988. Масштаб 1:1000000. Матрица карты хранится в БД лаборатории 6.2 ВНИИГеофизики.
56. Смирнова М.Н., Рустамович Д.Н., Саадов О.А. Ахыл-Маргановское землетрясение 17(18) июня 1969 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1969 г., с. 29-32.
57. Смирнова М.Н., Рустамович Д.Н., Номикова Н.А. Стародремненское землетрясение. Бюллетень сети сейсмических станций Кавказа. Январь-июнь 1973 г. «Мешинереба», Тбилиси, 1974 г., с. 105-115.

58. Улюмов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмоодинамических структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Выпуск 1. М., 1992.
59. Шабалин Н.В., Крестников В.Н., Русланович Д.Н. и др. Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. Сб. Землетрясения в СССР в 1970 г., с. 28-49.
60. Шабалин Н.В. Очистка сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974.
61. Condockaya N.M., Shebalin N.V. New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times through 1977. 1982.

ЧАСТЬ II

1. Авсаянова В.Н. Энергетически-спектральный метод оценки сейсмической опасности. М.: Наука, 1985, с. 182.
2. Авсаянова В.Н. Проблема землетрясений с очагами в земной коре. Вопр. инженер. сейсмол. М.: Наука, 1982. Вып. 23, с. 171-197.
3. Айзенберг Я.М. Сооружения с выходящими в скважины для сейсмических районов. М.: Стройиздат, 1976, с. 229.
4. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. М.: МНР, 1983, т. 1 и 2.
5. Волновые процессы в конструкциях зданий при сейсмических воздействиях. Отв. ред. д-р. В.А. Кривилев. М.: Наука, 1987, с. 160.
6. Герасимов А.Н. Следы трещинной вулканической деятельности баня г. Грозного. Изв. Геол. Комитета, т. XXXIX, с. 3-6.
7. Кайф Е.Д., Добыкая Р.М. Изучение разломов при инженерно-геологических исследованиях в сейсмоактивных областях. ПТИ, Варшава, 1991, с. 224.
8. Добыкая Р.М. Структурная зональность разломных зон. М., Недра, 1987, с. 128.
9. Добыкая Р.М. Изучение и оценка разломных зон для тектонического районирования сейсмоактивных территорий. В сб. «Чрезвычайные ситуации», ПТИ, Варшава, 1991, с. 30-54.
10. Милановский Е.Е., Хали В.Е. Геологическое строение Кавказа, МГУ, 1962, с. 259.
11. Проконья К.А. Новое Грозненский нефтегазовый район (исследования 1914 г.). Тр. Геол. Комитета. Новая серия. Вып. 134, 1922, с. 64.
12. Рутман Т.Г., Халтурин В.Н., Закиров М.С. Изучение условий в очаговых зонах по сейсмической коре. Физические процессы в очагах землетрясений. М.: Наука, 1980, с. 2-16.
13. Ситаров В.А. и др. Современные движения земной коры и нефтегазность (на примере Терско-Каспийского прогиба). М.: Наука, 1987, с. 118.
14. Смирнова М.Н., Курдюков Н.В. К вопросу геологической интерпретации Грозненского магнитного максимума. ДАН СССР, 191, 1960, с. 14-22.
15. Смирнова М.Н., Стапулис В.А., Яковлева Т.В. Рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ и новые данные о глубинном строении Терско-Каспийского прогиба. Грозный, 1967, с. 85.
16. Смирнова М.Н. и др. Старогрозненское землетрясение 1971 г., Бюлл. сети сейсмических станций Кавказа, Тбилиси, 1974.
17. Смирнова М.Н. и др. Старогрозненское техногенное землетрясение в связи с использованием метода «Маринетта». Физ.-геогр. сб-к ЦИГУ, 1985.
18. 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.
19. Aki K., Chouh B. Origin of coda: source, attenuation and scattering effects. J. Geophys. Res. 1975. Vol. 80. No 23, p. 3322-3343.
20. СНиП 1-62-87. Инженерные изыскания для строительства.
21. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах (1981 г.).
22. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах (1985 г.).
23. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства (РСМ-85).
24. РСН 60-80. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсморазведка.
25. РСН 65-87. Технические требования к производству работ. Сейсмическое микрорайонирование.

1. Уитмен Р.В., Корнелл С.А. Проектирование. // Сейсмический риск и инженерные решения: М., Недра. 1981 (Seismic risk and engineering decisions; ESPC; Amsterdam-Oxford-New York; (1976)), с. 300-336.
2. Канторович Л.В., Кейтис-Борок В.И., Молчан Г.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 Г.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 техноприродных 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 техноприродных 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. Луизиков А.И., Рагозин А.Л. Оценка сейсмического риска в пригородных 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 Г.Л., Кенжебаев Е.Т., Лобанская Р.М. и др. Анализ макросейсмических данных для уменьшения ущерба от землетрясений. В 2 кн. , Москва, МЧС, ИЛСАН, 1992, с. 393.
10. Кофф Г.Л., Шахраманиян М.А., Кенжебаев Е.Т. и др. Анализ сейсмического риска. Спасение и жизнеобеспечение населения при катастрофических землетрясениях. В 2 кн. , Москва, МЧС, ИЛСАН, 1992, с. 295.