РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СЕЙСМИЧЕСКОМУ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЮ, РСМ-73

Предисловие

Сейсмическое микрорайонирование позволяет уточнить величину сейсмических воздействий на сооружения от ожидаемых землетрясений, классифицируя интенсивность этих воздействий для разных зон. Современные сейсмические и геологические методы дают возможность осуществить такую классификацию обобщением данных о прошлых землетрясениях, материалов о тектонических условиях района, сведений о физических свойствах грунтов и подстилающих пород, о мощностях верхних отложений и о спектральных свойствах приходящих сейсмических волн.

Настоящие Рекомендации предназначены для проектных, изыскательских и научно-исследовательских организаций, проводящих работы по сейсмическому микрорайонированию территорий городов, населенных пунктов и промплощадок в республиках СССР.

При составлении Рекомендаций была использована "Инструкция по проведению сейсмического микрорайонирования", опубликованная в Трудах Института физики Земли АН СССР в 1962 г.

Данные Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию составлены Институтом физики Земли АН СССР при участии следующих организаций: Института земной коры СО АН СССР, Института геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР, Института строительной механики и сейсмостойкости АН ГрузССР, Института геологии АН КазССР, Института геологии АН КиргССР, Института геологии и геофизики АН МолдССР, Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Тадж ССР, Института сейсмологии АН УзбССР, Института геофизики АН УССР, Московского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева Министерства высшего образования СССР, Института оснований и подземных сооружений Госстроя СССР, Института Фундаментпроект Минмонтажспецстроя СССР, Центрального треста инженерно-строительных изысканий Госстроя РСФСР.

Рекомендации состоят из следующих разделов:

1. Общие указания;
2. Сейсмичность района;
3. Уточнение общей сейсмичности района;
4. Использование гидрогеологических и инженерно-геологических данных при микрорайонировании;
5. Инструментальные исследования сейсмических характеристик грунтов;
6. Инструментальные наблюдения при землетрясениях и взрывах;
7. Исследования микросейсм;
8. Спектры сильных землетрясений;
9. Сейсмическое микрорайонирование в условиях вечномерзлых грунтов;
10. Порядок составления карты сейсмического микрорайонирования, утверждения и применения результатов.

Отдельные пункты Рекомендаций разработали: В.И. Бунэ, И.А. Ершов, А.З. Кац, В.Н. Крестников, Н.И. Кригер, Г.А. Лямзина, С.В. Медведев, А.Б. Максимов, Г.Н. Назаров, И.Л. Нерсесов, О.В. Павлов, С.А. Пирузян, Е.В. Попова, С.В. Пучков, В.П. Солоненко, В.А. Шемшурин, В.В. Штейнберг.

В подготовке Рекомендаций участвовала рабочая группа по сейсмическому микрорайонированию в составе: Э.М. Антоненко, Д.Д. Баркан, А.И. Белоколоцкий, Е.М. Ва-

gost.e-ecolog.ru

силенко, Ш. Дуйшеналиев, И.А. Ершов, Т.Ж. Жунусов, С.С. Калмахелидзе, С.М. Касымов, А.З. Кац, Л.А. Коган, Н.И. Кригер, В.П. Кузнецов, Г.А. Лямзина, А.Б. Максимов, Р.М. Мамедов, С.В. Медведев (председатель рабочей группы), В.М. Мирзаев, А.Г. Назаров, Г.Н. Назаров, О.В. Павлов, А.И. Перельберг, С.А. Пирузян, Л.М. Плотникова, Е.В. Попова (ученый секретарь рабочей группы), В.В. Попов, С.В. Пучков, А.И. Савич, В.Н. Самков, В.С. Саянов, А.П. Синицын, Ю.Г. Трофименков, В.А. Шемшурин, Э.М. Эсенов.

Руководители работ – С.В. Медведев и И.Л. Нерсесов, рецензенты – Е.А. Кориналин, Е.Ф. Саваренский, С.А. Федоров.

Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию были одобрены Специализированным ученым советом по сейсмологии Института физики Земли (ИФЗ)АН СССР и рекомендованы для издания Междуведомственным советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР. Рекомендации составлены взамен "Инструкции по проведению сейсмического микрорайонирования", 1962 г. Ответственным редактором Рекомендаций был утвержден С.В. Медведев. Рекомендации утверждены директором ИФЗ АН СССР академиком М.А. Садовским.

При подготовке данного издания учтены замечания, высказанные на Всесоюзном совещании по проектированию и строительству сейсмостойких зданий и сооружений (г. Фрунзе, октябрь 1971 г.), а также на совещании по сейсмическому микрорайонированию (г. Иркутск, декабрь 1971 г.).

При составлении настоящих Рекомендаций были учтены замечания и пожелания некоторых специалистов.

1. Общие указания

1.1. Цель сейсмического микрорайонирования – уточнение сейсмичности данного населенного пункта СССР, установленной по карте сейсмического районирования территории СССР (приложение 1 к СНиП, II –А, 12–69 "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования") или по спискам основных населенных пунктов СССР, расположенных в сейсмических районах (приложение 2 к СНиП, II –А, 12–69). Уточнение и изменение сейсмической интенсивности, выраженной в баллах по ГОСТ 6249–52 "Шкала для определения силы землетрясения в пределах от 6 до 9 баллов", обосновывается результатами сейсмических, тектонических и инженерно-геологических исследований.

1.2. Литологический состав и физико-механические свойства грунтов, на которых закладываются фундаменты зданий и сооружений, весьма разнообразны, а геологические разрезы, геоморфологические особенности и гидрогеологические условия часто сильно различаются на разных участках и даже строительных площадках. Эти факторы могут вызвать значительные различия в величине сейсмической интенсивности на изучаемом участке по сравнению с указанной выше главой СНиП, II –А, 12–69.

1.3. При микрорайонировании рассматриваются сведения о сейсмичности района, его геологических и тектонических особенностях, геоморфологических и гидрогеологических условиях, типах грунтов, выделяемых по инженерно-геологическим данным, а также сейсмические свойства грунтов, устанавливаемые на основании инструментальных измерений.

1.4. В Рекомендациях даются указания для составления карты сейсмического микрорайонирования исследуемой территории, с помощью которой можно определить интенсивность ожидаемого землетрясения для каждого строящегося объекта, выраженную в баллах действующей сейсмической шкалы, с учетом конкретных условий данной строительной площадки.

1.5. Рекомендации предназначены для проведения сейсмического микрорайонирования территорий городов и отдельных строящихся крупных предприятий, расположенных в районах сейсмичности 7–9 баллов, а также территорий, предназначаемых для возведения особо ответственных сооружений в районах сейсмичностью 6 баллов по карте сейсмического районирования территории СССР. На сейсмическое микрорайонирование территорий, предназначаемых для размещения крупных гидроузлов, настоящие Рекомендации не распространяются.

1.6. Степень повреждения зданий и сооружений в результате воздействия землетрясений зависит от амплитудно-частотных параметров сотрясений грунта, от динамических характеристик сооружения, определяемых его конструктивными особенностями, и от характера взаимодействия сооружения и грунта. Амплитудно-частотный характер колебаний грунтов определяется: а) энергией (магнитудой) землетрясения и глубиной его очага; б) расстоянием от эпицентра землетрясения до районируемого участка; в) геологическим строением района; г) физико-механическими свойствами грунта и подстилающих пород, их мощностями.

В Рекомендациях помимо оценки интенсивности в баллах указываются приемы определения амплитудно-частотных характеристик грунтов, которые могут быть использованы проектными организациями для расчета сооружений на сейсмостойкость.

1.7. Интенсивность землетрясений, определяемая для данного пункта на основании карт сейсмического районирования территории СССР, относится к средним грунтовым условиям. К средним грунтам, согласно СНиП, II-А, 12-69, относятся глины и суглинки, пески и супеси при положении уровня грунтовых вод глубже 8 м от поверхности земли, а также крупнообломочные грунты при положении уровня грунтовых вод от 6 до 10 м.

Уточнение сейсмичности данного пункта, а также уточнение типа средних грунтов может быть сделано в результате исследований, выполненных согласно разделу 3 Рекомендаций.

1.8. Влияние сейсмических свойств грунтов (с учетом взаимодействия грунта и сооружения) изучалось на основании инженерных обследований последствий многих катастрофических землетрясений, а также ряда инструментальных наблюдений. Эти работы должны продолжаться при микрорайонировании.

1.9. Спектры сильных землетрясений в разных районах СССР изучены недостаточно. Есть основания предполагать, что спектры, так же как и формы записей сотрясений, будут различны при землетрясениях, различающихся величиной энергии в очаге, глубинами очага, гипоцентральными расстояниями и геологическими особенностями строения земной коры на путях от очагов до изучаемого пункта. Проблема прогноза спектральных особенностей сотрясений на поверхности земли конкретно для каждого пункта или района еще не решена. Поэтому при сейсмическом микрорайонировании следует накапливать и обобщать данные о спектрах и формах записей землетрясений на изучаемой территории.

1.10. В эпицентральной области сильного землетрясения возможны следующие процессы - образование трещин, просадок грунта, относительное перемещение крупных блоков земной коры и другие явления, которые изучены недостаточно для их уверенного прогнозирования. Одной из задач микрорайонирования является накопление данных о деформационных процессах, сопровождающих сильное землетрясение.

1.11. Для землетрясений с коровыми очагами, связанными с разломами, можно дать предварительный прогноз протяженности (L, км) главных сейсмогенных разрывов и площадь (S, км^2) возможных остаточных деформаций земной коры по приближенным эмпирическим формулам

$$\lg L = M - 6{,}2 ,$$

$$\lg S = M - 3{,}6 .$$

1.12. В зоне главного сейсмогенного разрыва, имеющего длину L при $M > 6{,}5$, возможны сейсмотектонические деформации (сбросы, взбросы, сдвиги, грабены и т.п.) и гравитационно-сейсмотектонические деформации (гравитационно-сейсмотектонические клинья, сбросо-обвалы, срывы вершин гор, смещения отдельных элементов гор и т.д.), а также развитие обвалов, оползней-обвалов, оползней. На площади S возможны сейсмогенные гравитационные явления (обвалы, оползни, земляные лавины, сели и т.п.).

1.13. В Рекомендациях указаны следующие способы инструментальных наблюдений для сейсмического микрорайонирования:

1) выявление различий в величинах сейсмической жесткости грунтов на изучаемой территории;

2) выявление различий в амплитудно-частотных характеристиках грунтов на изучаемом участке по сравнению с амплитудно-частотной характеристикой среднего грунта от землетрясений и взрывов;

3) выявление различий в амплитудно-частотных характеристиках высокочастотных микросейсм на изучаемом участке и на участке со средними грунтовыми условиями (эти наблюдения являются вспомогательными);

4) выявление различий в динамике сейсмических волн (разделение фаз, характер затухания, особенности интерференции на различных эпицентральных расстояниях) при наблюдениях типа ГСЗ (регистрация производится на расстояниях 15-20 км от пункта взрыва трехкомпонентной низкочастотной аппаратурой);

5) комплексное использование указанных наблюдений, что повышает точность результатов и позволяет избегать случайных ошибок.

1.14. Наряду с инструментальными исследованиями должны производиться детальные инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания, служащие основой для планирования инструментальных исследований. Они также используются при интерпретации результатов измерений.

1.15. Эффект проявления землетрясений на поверхности земли зависит от характеристик общей сейсмичности района и его геологического строения, поэтому при микрорайонировании необходимо тщательно изучать весь доступный геофизический и геологический материал. При отсутствии этих данных должны ставиться соответствующие исследования, являющиеся составной частью микрорайонирования (см. раздел 3).

1.16. В Рекомендациях не предусматривается проведение сейсмического микрорайонирования только по материалам инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий без проведения инструментальных сейсмических наблюдений. Уточнение сейсмичности отдельной площадки строительства сооружения без проведения инструментальных наблюдений осуществляется в соответствии с указаниями, приведенными в разделе 2.

2. Сейсмичность района

2.1. В главе СНиП, II -А, 12-69 "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования" даются указания для определения сейсмичности населенных пунктов, приведенные в п. 2.2-2.4, которые следует учитывать при проведении сейсмического микрорайонирования.

2.2. Сила землетрясения в районе или пункте строительства оценивается по картам сейсмического районирования территории СССР (см. приложение 1 главы СНиП, II-А, 12-69) или по списку населенных пунктов СССР, расположенных в сейсмических районах (см. приложение 2 главы СНиП, II -А, 12-69). Указанная на карте сейсмичность относится к участкам со средними геологическими условиями (грунты II категории по табл. 1).

2.3. Уточнение сейсмичности площадки строительства в зависимости от природных условий производится на основании карт сейсмического микрорайонирования, осуществляемого согласно настоящим Рекомендациям.

2.4. Для столиц союзных республик и крупных городов, а также при строительстве особо ответственных объектов сейсмическое микрорайонирование рекомендуется проводить, используя все указания настоящих Рекомендаций.

2.5. Для небольших городов инструментальные наблюдения можно выполнять в сокращенном объеме, используя для этого лишь основные указания, приведенные в разделах 5, 6 и 7 настоящих Рекомендаций.

2.6. При отсутствии карт сейсмического микрорайонирования уточнять сейсмичность площадки строительства отдельных сооружений на основании общих инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий допускается согласно СНиП, II -А, 12-69 (по согласованию с утверждающей проект инстанцией), используя указания табл. 1, в которой глубина грунтовых вод измеряется от планировочной отметки.

2.7. При использовании табл. 1 следует учитывать, что песчаные, супесчаные и суглинистые грунты, имеющие грунтовые воды на глубине от 4 до 8 м, и крупнообломочные грунты, имеющие грунтовые воды на глубине от 3 до 6 м, относятся

Таблица 1

Изменение интенсивности землетрясения на основании инженерно-геологических и гидрогеологических данных (СНиП, II-А, 12-69)

Категория грунтов по сейсмическим свойствам	Грунт	Уточненная интенсивность (в баллах) для сейсмических районов		
		7	8	9
I	Скальные породы, трещиноватые – изверженные, метаморфические и осадочные (граниты, гнейсы, известняки, песчаники, конгломераты)	6	7	8
	Полускальные породы (мергели, окремневшие глины, глинистые песчаники, туфы, ракушечник и гипсы и т.п.)	6	7	8
	Крупнообломочные особо плотные грунты при глубине уровня грунтовых вод $h>15$ м	6	7	8
II	Глины и суглинки, пески и супеси при $h>8$ м	7	8	9
	Крупнообломочные грунты при 6 м$<h<$10 м	7	8	9
III	Глины и суглинки, пески и супеси при $h<4$ м	8	9	Более 9
	Крупнообломочные грунты при $h<3$ м	8	9	Более 9

ко II и III категории по сейсмическим свойствам в зависимости от особенностей рельефа, условий залегания пластов, выветренности пород, близости плоскостей сброса и других факторов. Такой же подход должен быть к крупнообломочным грунтам при глубине залегания грунтовых вод от 10 до 15 м.

2.8. Уточнение балльности площадки, предназначенной для возведения особо ответственных объектов, произведенное на основании общих инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, должно быть согласовано с Госстроем союзной республики.

2.9. Следует учитывать, что выветренность и нарушенность пород физико-геологическими процессами, просадочность грунтов II категории (по СНиП, II-Б, 1-62), районы осыпей, отвалов, плывунов, горных выработок являются неблагоприятными условиями в сейсмическом отношении. При необходимости строительства зданий и сооружений в этих условиях следует принимать дополнительные меры по укреплению оснований и усилению конструкций.

2.10. На строительных площадках, сейсмичность которых более 9 баллов, возводить здания и сооружения не разрешается, но в случае необходимости строительство на таких площадках может быть допущено по согласованию с Госстроями союзных республик. При этом должны быть предусмотрены дополнительные антисейсмические мероприятия.

2.11. Мероприятия по обеспечению сейсмостойкости зданий и сооружений принимаются в зависимости от их расчетной сейсмичности, определяемой с учетом сейсмичности участка строительства и назначения зданий и сооружений.

3. Уточнение общей сейсмичности района

3.1. При проведении сейсмического микрорайонирования городов и крупных промышленных объектов необходимо уточнять данные о тектонике, общей сейсмичности и сильных землетрясениях прошлых лет и другие сведения, обосновывающие интенсивность ожидаемых землетрясений в районе. Учитывая размеры очагов сильных землетрясений, а также степень убывания балльности от очага, в среднем область исследований следует определять радиусом в 100 км от объекта. Все данные необходимо строить на картах масштаба 1:200 000 или 1:300 000.

Ниже приведены указания по уточнению данных о сейсмичности района, о связях между интенсивностью, магнитудой, энергетическим классом и глубиной очагов землетрясений, о построении карт сейсмической активности, графиков повторяемости, карт эпицентров, об оценке сотрясаемости, геологических и тектонических факторов с точки зрения сейсмичности района.

3.2. При сейсмическом микрорайонировании рекомендуется учитывать особенности расположения очагов землетрясений, которые могут вызвать 7–9-балльные и более сильные сотрясения на районируемой территории, чтобы получить некоторые представления о спектрах возможных сильных землетрясений.

3.3. При обобщении сведений о сотрясениях интенсивностью 6–9 баллов и более необходимо использовать данные, полученные при проведении сейсмического районирования территории СССР, а также собрать дополнительные данные и произвести их совместный анализ.

Каталог землетрясений, проявившихся в рассматриваемом районе, рекомендуется составлять по следующей форме:

Год, месяц, число, время возникновения	Интенсивность, балл		Координаты эпицентра	Глубина очага, км	Точность определения координат	Магнитуда, M	Энергетический класс, K	Дальность регистрации
	в эпицентре	в других пунктах						

3.4. Для получения дополнительных сведений о сейсмичности района используются инструментальные данные о землетрясениях из сейсмических бюллетеней и других печатных работ, составляются карты эпицентров местных землетрясений. Собираются сведения о сильных землетрясениях (разрушения построек, деформации грунтов и т. п.). Используются или строятся заново карты изосейст.

Необходимо иметь данные о приращении интенсивности, в баллах, при различном рельефе и на разных грунтах в пределах территории, подлежащей микрорайонированию и в радиусе порядка 30 км вокруг нее. При наличии материала поквартального обследования городских территорий, захваченных разрушительным или хотя бы ощутимым землетрясением, желательно составлять детальные схемы приращения интенсивности.

3.5. Для получения однородного материала все имеющиеся данные пересматриваются и интенсивность землетрясений устанавливается по шкале ГОСТ 6249–52, с использованием шкалы *MSK* – 1964. Макросейсмические данные сопоставляются с инструментальными для выделения региональных связей между интенсивностью I, магнитудой M, энергетическим классом K и глубиной очага h.

3.6. В тех случаях, когда имеющийся сейсмологический материал оказывается недостаточным, следует проводить детальные сейсмологические исследования с помощью высокочувствительных сейсмических станций для получения данных более

высокой точности о распределении очагов землетрясений, их энергии и спектрах. Сейсмологические наблюдения следует проводить сетью из 8–12 станций для того, чтобы обеспечить достаточно высокую точность определения глубин очагов. Сроки наблюдений в значительной степени определяются уровнем сейсмичности района и могут колебаться от двух лет до десяти. В сейсмически активных районах, особенно при отсутствии или малом объеме сейсмостатистического материала, необходимо проводить комплексные сейсмические, тектонические и палеосейсмогеологические исследования.

3.7. На основе выявленных связей и каталога землетрясений строится график повторяемости землетрясений для изучаемого района (п. 3.8), а также карта сейсмической активности A (п.3.9) и карта сотрясаемости (п.3.11). Для этого все имеющиеся сведения о землетрясениях прошлых лет (инструментальные и макросейсмические) приводятся к энергетической шкале Института физики Земли АН СССР. В этой шкале энергетический класс $K = \lg E$, где E – сейсмическая энергия, в дж, выделяемая очагом.

Для крупных землетрясений имеющиеся данные о величинах магнитуд M пересчитываются в величины энергетического класса K.

3.8. Графики повторяемости землетрясений, выражающие зависимость логарифма числа N землетрясений за определенный интервал времени t от их энергетического класса K, могут строиться методом суммирования $N_\Sigma(K)$, где N_Σ – число землетрясений класса K и более высоких классов, или по обычной формуле $\lg N = f(K)$. Число землетрясений нормируется на срок в 1 год и на площадь 1000 км^2.

Графики повторяемости обычно считаются надежными, если общее число анализируемых землетрясений не менее 60; при подсчете исключаются афтершоки, а рой землетрясений принимается за одно событие с суммарной энергией. При наличии достаточных (дифференцированных по времени) палеосейсмологических данных они могут быть использованы для уточнения графика в области высоких энергий (начиная с $M>6\,1/2$, $K>15$).

При построении графиков повторяемости вертикальный масштаб принимается в 5 см на один порядок изменения числа землетрясений N. Горизонтальный масштаб 1 см соответствует энергетическому классу K. В области слабых землетрясений график может выполаживаться, что указывает на непредставительность слабых классов землетрясений. При осреднении графика эти данные следует отбрасывать.

Угол наклона графика γ следует определять в интервале только представительных энергетических классов землетрясений, чаще всего от 6 до 12. Более высокие классы из-за малого числа очагов могут быть также непредставительными.

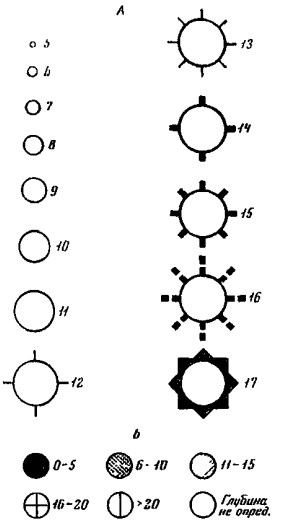
3.9. Для построения карты эпицентров используются данные о достаточно представительных землетрясениях. Все сведения о землетрясениях, полученные в результате специальных инструментальных работ по детализации карты сейсмичности, должны быть представлены в каталоге. Эпицентры землетрясений разного класса K наносятся на карту кружками различной величины. Условные обозначения эпицентров разных энергетических классов показаны на рис.1. На основании карты эпицентров строится карта сейсмической активности в том же масштабе. Для ее построения используется величина A, равная числу землетрясений N 10-го энергетического класса за год. Эта карта строится по методу суммирования с постоянной точностью. Число эпицентров в зоне осреднения должно составлять не менее 5–8 в центральной части, и не менее трех по краям зоны. Изолинии сейсмической активности A проводятся для значений, изменяющихся в геометрической прогрессии, начиная с активности 0,05. В случае, когда глубины гипоцентров определяются с высокой точностью, кроме сводной карты сейсмической активности могут быть построены карты для разных диапазонов глубины очагов.

3.10. Помимо карт активности полезный материал по общей сейсмичности района могут представлять карты плотности эпицентров. Карты плотности эпицентров следует строить для элементарных квадратов основной карты размером 5 или 10 км^2. Карты нормируются на срок в 1 год, изолинии проводятся со значений плотности 0,5 с возрастанием в геометрической прогрессии. Кроме того, целесообразно показать очаги сильных землетрясений.

3.11. В качестве уточняющего сейсмичность материала могут служить карты сотрясаемости, т. е. долговременной средней частоты повторений в данном пункте

Классификация эпицентров

А – по энергетическому классу (К); Б – по глубине



сотрясений заданной балльности, а также средний период таких повторений. Карты сотрясаемости строятся в изолиниях для каждого балла интенсивности.

3.12. При сейсмическом микрорайонировании необходимо учитывать, что землетрясения являются следствием тектонических деформаций земной коры и их распределение подчиняется некоторым закономерностям, находящимся в связи с общими процессами тектогенеза. Используя эти закономерности, можно интерполировать и экстраполировать сейсмостатические данные на те районы, в которых землетрясения до сих пор не были зарегистрированы или их было мало.

3.13. Последовательный тектонический анализ развития сейсмоактивных областей от древних эпох до современной дает возможность установить направленность тектонических движений в прошлом и наметить их связь с современной сейсмичностью. На основании этого могут быть выделены области неустойчивого тектонического режима, характеризующиеся неоднократным изменением общей направленности движений и перестройкой структурного плана, которым свойственна повышенная сейсмическая активность. Области перестройки тектонической обстановки, где в недавнее время прогибание земной коры сменилось поднятием или, наоборот, поднятие – прогибанием, часто обладают повышенной сейсмической активностью. Геоморфологическим выражением такой перестройки являются: участки изменения современной гидрографической сети; зоны миграции крупных водоразделов; участки захвата и выравнивания молодыми наложенными впадинами областей современных поднятий; узкие зоны контрастных новейших движений, иногда наследующие древние зоны глубинных разломов.

3.14. Очень существенно выявление зон, характеризующихся значительной степенью контрастности тектонических движений в течение весьма длительного времени. Они в сущности являются границами между участками земной коры, характеризующимися разной тектонической историей, даже если граница не выражена на поверхности разрывом или значительной величиной градиента современных вертикальных движений. Важно установить длительно существовавшие в рассматриваемой области тектонические швы, т. е. глубинные разломы, играющие большую роль в сейсмической деятельности.

3.15. Изучение механизмов очагов землетрясений убеждает в том, что землетрясения вызываются действием в недрах Земли касательных напряжений, приводящих либо к повторным смещениям по ранее образовавшимся и уже имевшимся разрывам, либо к образованию новых тектонических разломов. Возникновение касательных напряжений и их наибольшая интенсивность будут там, где наблюдается наибольшая контрастность тектонических движений. В качестве тектонического показателя интенсивности движений можно принять величину градиента скоростей относительных движений коры, т. е. изменение скорости на единицу горизонтального расстояния в направлении, поперечном к границе, разделяющей участки, двигающиеся друг относительно друга.

3.16. Определение величины градиента скорости тектонических движений земной коры возможно различными методами: геодезическими (для современной эпохи); геоморфологическими и геологическими (для этапа активизации тектонических движений или четвертичного периода). Следует выявлять региональные особенности корреляции градиента скорости тектонических движений и сейсмической активности.

3.17. В зависимости от местных условий количественные характеристики скоростей деформации земной коры и роста разрывов могут определяться по данным о мощностях молодых отложений, подъему древних поверхностей выравнивания, высотам

речных террас, морфологии складок, а также по повторным геодезическим измерениям. При этом важно установить положение зон разрывных тектонических дислокаций в коренных породах (зон разломов) в пределах районируемой площадки и на окружающей территории. Выделению подлежат как основные зоны активных разломов, так и зоны оперяющих и примыкающих нарушений.

Крупные тектонические разломы представляют собой зону дробления пород, имеющих пониженные прочностные свойства. Мелкие тектонические разломы должны учитываться с точки зрения разнородности сейсмических свойств по обе стороны разлома и возможности образования при неблагоприятных условиях рельефа оползней, обвалов и смещений по плоскостям разломов.

3.18. Если имеется зона однородных неотектонических движений земной коры, сопровождаемая на всем протяжении разрывом одного и того же типа и сходной геологической обстановкой, и если где-либо в этой зоне зарегистрированы землетрясения, достигающие такой-то максимальной энергии, то можно считать вероятным, что землетрясения той же максимальной энергии могут возникнуть в дальнейшем на всем протяжении этой зоны.

3.19. При анализе тектонических данных района, прилегающего к участку, подлежащему микрорайонированию, необходимо обратить внимание на современное строение земной коры: мощности осадочного, гранитного и базальтового слоев и их внутреннее строение, а также на складчатые и разрывные нарушения, что дает возможность выявить характер деформаций и разрывов, охватывающих земную кору в целом и ее отдельные слои.

3.20. При изучении тектонического строения района следует обращать особое внимание на зоны сближения и пересечения основных тектонических элементов, так как при сопоставлении с сейсмичностью было замечено, что эти зоны отличаются высокой сейсмической активностью и наиболее крупными остаточными деформациями.

3.21. Зоны выделенных активных разломов наносятся на карту сейсмического микрорайонирования в принятом масштабе, а также на карту окружающей территории в таком же масштабе. На последнюю карту наносятся, кроме того, зоны эпицентров землетрясений для выяснения связей между этими зонами и зонами поверхностных разломов.

Тектонические разрывы, с которыми связаны землетрясения, часто не выходят на поверхность и могут только предполагаться на глубине. В этих случаях следует использовать геофизические данные.

3.22. Выделение тектонических нарушений геофизическими методами проводится на основе комплекса работ, включающих аэромагнитную и гравиметрическую съемку, глубинное сейсмическое зондирование, изучение структуры палеозойского основания методами КМПВ и отраженных волн, а также обменными волнами при выполнении работ ГСЗ трехкомпонентными станциями. В отдельных случаях может оказаться полезной геохимическая съемка для выделения зон разломов.

Аэромагнитная и гравиметрическая съемка должны проводиться в масштабе всего района исследования (1:200 000–1:500 000), а для исследуемой площадки и ее непосредственных окрестностей в масштабе 1:25 000.

3.23. Если на основании общих геологических данных непосредственно в районе исследования можно ожидать нарушений, характеризующихся современными движениями, то в пределах этих нарушений следует проводить изучение темпа современных движений геодезическими методами (повторными нивелировками и триангуляцией). Объем этих исследований должен определяться специальной программой.

3.24. Изучение тектонических нарушений рекомендуется проводить с привлечением аэровизуальных геологических методов и аэрофотосъемки со специальными методами ландшафтного дешифрирования.

3.25. Рекомендуется для крупных городов осуществлять сравнительный анализ обобщенных сейсмологических материалов с данными по геофизическим полям и глубинному строению земной коры (включая осадочный чехол и консолидированное основание) с целью выделения сейсмогенных разломов и структур.

3.26. Проводя комплекс геологических и геофизических исследований, следует иметь в виду, что в настоящее время не существует однозначных критериев, опре-

деляющих степень сейсмической опасности тектонических нарушений. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо тщательно исследовать возможные связи геофизических полей с тектонической и сейсмологической обстановкой, а в соответствующих случаях и с палеосейсмическими дислокациями.

4. Использование гидрогеологических и инженерно-геологических данных при микрорайонировании

4.1. Геологические, инженерно-геологические, гидрогеологические и геоморфологические данные являются основой для разделения изучаемых территорий на зоны со сходными грунтовыми условиями и для выбора пунктов, в которых необходимо производить инструментальные сейсмические исследования. Материалы инструментальных наблюдений интерпретируются совместно с вышеуказанными данными. Результаты инструментальных оценок вероятной интенсивности землетрясений должны распространяться на соответствующие однородные зоны, границы которых в дальнейшем будут одновременно служить границами сейсмических зон.

При планировании инструментальных наблюдений для составления карты сейсмического микрорайонирования используются следующие материалы: 1) данные о сейсмичности района, определяемой по карте районирования территории СССР, а также данные по уточнению сейсмичности, полученные в результате работ, указанных в разделе 3; 2) инженерно-геологические, гидрогеологические, геоморфологические и геологические карты и другие материалы; 3) данные о физико-механических свойствах грунта – скорости распространения сейсмических волн, плотности, пластичности, просадочности и др.

4.2. Материалы, определяющие инженерно-геологические условия, должны включать:

1) план изучаемой территории в масштабе 1:10 000, а в особых случаях – в большем или меньшем масштабе;

2) инженерно-геологическую карту в масштабе 1:10 000 или крупнее, с отражением выходов коренных пород и четвертичных отложений, с указанием их литологического состава, мощности пластов, уровней грунтовых вод (или с гидроизогипсами максимальных уровней подземных вод). Карта составляется в двух вариантах: в масштабе 1:10 000 для застраивающейся территории и для микрорайонов, подлежащих освоению в ближайшее время, и в масштабе 1:25 000 для территорий, освоение которых планируется через 10–15 лет;

3) опорные геологические разрезы до глубины 20 м и по возможности больше, составленные по сетке, размеры которой назначаются исходя из местных условий, но не реже чем через 1000 м и по всей площади микрорайонирования; на разрезах должны быть показаны данные интерпретации геофизических исследований, обобщенные показатели физико-механических свойств и максимальный уровень грунтовых вод; вертикальный масштаб – 1:500–1:1000, а горизонтальный – в масштабе карты;

4) карту геологических выработок, пронумерованных по порядку;

5) ведомость выработок для типичных грунтов с нумерацией, приведенной на карте;

6) геоморфологическую карту в выбранном масштабе с выделением водораздельных участков, коренных склонов, террас и участков с неблагоприятными для строительства сейсмическими условиями, т. е. с развитием процессов, активизирующихся в результате сейсмических воздействий – участков повышенной просадочности, активного карста, заболоченных участков, обвалов, осыпей, оползней, территорий, расположенных над активными тектоническими нарушениями и др.;

7) пояснительную записку, в которой по материалам инженерно-геологического и других исследований района должно быть обосновано выделение характерных зон, отличающихся по геоморфологическим, гидрогеологическим и грунтовым условиям.

4.3. Указанные в п. 4.2 материалы составляются на основании обобщения существующих данных по топографии, геоморфологии, геологии и гидрогеологии. На малоисследованных участках или при отсутствии каких-либо из перечисленных мате-

риалов необходима постановка специальных исследований, которые должны проводиться особой группой, включающей квалифицированных специалистов по каждому из перечисленных направлений.

4.4. При проведении сейсмического микрорайонирования на участках, расположенных на крутых склонах гор, в ущельях и в районах со сложным рельефом, необходимо учитывать возможность остаточных деформаций. Основными типами повреждений и разрушений склонов и насыпей при сейсмических воздействиях являются оползания и обвалы материала склонов, оседания насыпей, трещины и явления, сопутствующие разжижению грунта. Следует различать природу указанных нарушений: вызвана ли она недостаточной прочностью склона или увеличением интенсивности сейсмических воздействий на этом склоне.

4.5. При организации сейсмометрических наблюдений на склонах следует ожидать увеличения амплитуд колебаний с высотой. При этом вертикальная компонента движений не испытывает значительных изменений, а горизонтальная компонента, лежащая в плоскости, перпендикулярной борту ущелья, испытывает наибольшее изменение. Характер изменения зависит от частоты колебаний, направления их прихода, крутизны склонов и глубины ущелья. В результате приведенных наблюдений было отмечено: 1) увеличение сейсмической интенсивности на склонах ущелья по отношению к дну составляло около 1 балла; 2) отношение амплитуд смещений в верхних точках горного сооружения, имеющего форму усеченного конуса с углами свыше 15°, к амплитуде в нижней зоне этого сооружения достигало семикратной величины для отдельных участков спектра; 3) на лёссовых грунтах в окрестности уступов в рельефе амплитуды на верхней кромке уступа примерно в 4 раза больше, чем у его подножья, и в 2 раза больше, чем в точке на горизонтальной поверхности, удаленной от края уступа на 25 м.

4.6. Имеющиеся сведения об изменении интенсивности сейсмических колебаний на участках со сложным рельефом недостаточны для количественной оценки такого изменения по данным геоморфологии. Поэтому на таких участках необходимо проведение инструментальных наблюдений за сотрясениями, вызываемыми землетрясениями или удаленными взрывами, в соответствии с указаниями, приведенными в разделах 5–7. Число сейсмоприемников и их расстановка определяются в зависимости от конкретных условий на исследуемом участке.

4.7. При сейсмическом микрорайонировании участков, расположенных в зонах развития лёссовых грунтов, необходимо учитывать следующие особенности исследований:

а) за средние грунты следует принимать незамоченные так называемые "непроявленные" (целинные) лёссы с глубиной уровня грунтовых вод более 8 м;

б) при замачивании ("проявлении") лёссов скорости распространения упругих волн в них резко изменяются и восстановление нарушенных связей происходит примерно через 8–10 лет; в соответствии с этим сейсмическая интенсивность на свежепроявленных лёссах может существенно возрастать;

в) после застройки на площадях с незамоченными лёссами практически во всех случаях наблюдается повышение их влажности, сопровождаемое ухудшением сейсмогеологических условий и повышением интенсивности ожидаемого сейсмического воздействия;

г) участки с неглубоким залеганием древних каменных лёссов характеризуются значениями скоростей, типичными для скальных грунтов; сейсмическая интенсивность на таких участках обычно снижается на 1 балл, а приращения интенсивности, вносимые из-за изменения уровня грунтовых вод, практически отсутствуют.

4.8. Результатом исследований, отмеченных в данном разделе Рекомендаций, должна явиться сводная схема деления территории на зоны, разнящиеся по инженерно-геологическим характеристикам и режиму грунтовых вод. В качестве отдельных зон должны быть выделены участки, перечисленные в п. 4.3–4.7. Эта сводная схема наряду с материалами, указанными в п. 4.2, является основанием для планирования инструментальных наблюдений.

4.9. Зависимость интенсивности землетрясений от характера грунтов весьма сложна, что объясняется многообразием существующих в природе грунтовых условий. Поэтому перечисленные в п. 4.2 исходные материалы следует дополнять данными, характеризующими специфические особенности изучаемой территории.

4.10. Детальность исследований при сейсмическом микрорайонировании в значительной степени определяется особенностями и пестротой геологического строения и инженерно-геологических условий исследуемого района. Повышение детальности требуется, в частности, при выделении и оконтуривании участков: а) с неблагоприятными для строительства сейсмо-геологическими условиями; б) с водонасыщенными мелкозернистыми песчаными отложениями, приуроченными обычно к низинам; в) с увлажненными песчано-глинистыми и крупнообломочными грунтами у оснований горных склонов и на склонах.

4.11. На основании неинструментальных данных о грунтовых условиях можно выполнять предварительную ориентировочную оценку изменений интенсивности землетрясений, которая используется при инструментальных наблюдениях.

5. Инструментальные исследования сейсмических характеристик грунтов

5.1. Инструментальные наблюдения при сейсмическом микрорайонировании выполняются для прогноза характеристик сейсмического воздействия в отдельных типичных зонах, выделенных по инженерно-геологическим данным. Для решения этой задачи возможно использование двух основных способов.

Один из них основан на сравнении записанных во времени амплитуд смещений (скоростей, ускорений) сейсмических колебаний грунта, их спектров или спектров приведенных сейсмических ускорений на площадках с различными типами инженерно-геологических условий. Другой способ основан на сравнении сейсмических жесткостей и некоторых других сейсмических характеристик грунтов, получаемых при наблюдениях сейсморазведочного типа, с учетом уровня грунтовых вод и резонансных свойств грунтов исследуемой толщи.

Для повышения надежности результатов исследований желательно применять оба способа в комплексе, хотя, в зависимости от технической оснащенности исследовательской группы, допустимо применение и какого-то одного метода.

5.2. Инструментальные исследования включают детальное изучение сейсмических свойств грунтов с помощью наблюдений сейсморазведочного типа. Обладая достаточной точностью и надежностью, этот метод весьма оперативен и позволяет за короткий срок исследовать большие территории.

5.3. При использовании для целей сейсмического микрорайонирования способа сейсмических жесткостей необходимо учитывать три фактора, определяющих изменение величин приращений сейсмической интенсивности исследуемого участка по сравнению со средними грунтовыми условиями:

1) изменение интенсивности ΔI_c (в баллах), определяемое по величине изменений средних сейсмических жесткостей грунтовой толщи мощностью 10 м или более на изучаемом участке $V_i \rho_i$ по сравнению со средней сейсмической жесткостью $V_1 \rho_1$ такой же толщи на эталонном участке в соответствии с зависимостью

$$\Delta I_c = 1{,}67 \lg \frac{V_1 \rho_1}{V_i \rho_i} .$$

Для расчетов приращений по этой зависимости предпочтительно использовать данные о скоростях распространения упругих поперечных волн V_s. При использовании определений скоростей продольных волн V_p на участках с неглубоким положением уровня грунтовых вод измеренные значения должны приводиться к значениям, характерным для исследуемой толщи в необводненном состоянии;

2) приращение интенсивности $\Delta I_{\text{у.г.в}}$ (в баллах), определяемое глубиной от поверхности земли уровня грунтовых вод (h, м), для случаев, когда за средние приняты участки, где глубина уровня грунтовых вод составляет не менее 6–10 м (на которых $\Delta I_{\text{у.г.в}} = 0$) в соответствии с зависимостью

$$\Delta I_{\text{у.г.в.}} = e^{-0{,}04\, h^2} ;$$

3) приращение интенсивности $\Delta I_{рез}$, определяемое резонансными явлениями в исследуемом грунте.

5.4. Полное приращение сейсмической интенсивности на исследуемом участке по способу сейсмических жесткостей определяется как сумма вычисленных приращений

$$\Delta I = \Delta I_c + \Delta I_{у.г.в.} + \Delta I_{рез.} .$$

5.5. Можно пользоваться для вычисления величины ΔI также зависимостью вида

$$\Delta I = 0{,}8 \lg \frac{\rho_1 V_{s1} f_{s1}^2}{\rho_i V_{si} f_{si}^2} ,$$

где f_{s1} и f_{si} – преобладающие частоты колебаний поперечной волны на сопоставляемых грунтах.

Эта зависимость автоматически учитывает как упругие свойства грунтов, так и характер их водонасыщенности.

5.6. Характеристики, входящие в рекомендуемые зависимости, могут определяться с помощью наблюдений сейсморазведочного типа, а регистрация сигналов, возбуждаемых ударом на коротком (50–100 м) профиле, – с помощью обычной сейсморазведочной широкополосной аппаратуры. В качестве носителя информации при этом следует рассматривать прямую (рефрагированную) волну.

5.7. Данные, полученные указанным способом, можно дополнять данными сейсмокаротажа (или просвечивания), а также данными обычной сейсморазведки КМПВ, имея при этом в виду, что специальная постановка подобных наблюдений сильно усложняет полевой эксперимент.

5.8. Для грунтовых толщ, включающих в себя несколько слоев, с сейсмическими границами 2-го рода, характеризующихся различными значениями скоростей упругих волн, вычисляется средняя скорость $\bar{V}$ в соответствии с формулой

$$\bar{V} = H / \Sigma \Delta t_i ,$$

где H – мощность исследуемой толщи; Δt_i – время вертикального пробега упругих волн в каждом из отдельных слоев, слагающих исследуемую толщу.

5.9. Величины плотностей ρ (объемного веса) пород верхней части разреза определяются на основании имеющихся инженерно-геологических материалов. В случае отсутствия или недостаточной точности этих данных плотность может определяться: методом лабораторных измерений по образцам из скважин и шурфов; методами гамма-гамма-каротажа по имеющимся скважинам.

5.10. При наличии слоистых толщ для расчетов приращений интенсивности используются средневзвешенные значения плотностей $\rho_{св}$ в верхней толще, определяемые по формуле

$$\rho_{св} = \Sigma \rho_i h_i / H ,$$

где ρ_i – плотность грунтов в каждом из отдельных слоев; h_i – мощность каждого из отдельных слоев, входящих в исследуемую толщу с суммарной мощностью H.

Для больших глубин плотность грунтов может определяться на основании геологических и геофизических данных в соответствии с табл. 2, которая предназначена для общей ориентировки исследований.

Если непосредственное определение плотности грунтов затруднительно, допускается использовать при расчетах приращения балла ориентировочные табличные значения (см. табл. 2).

5.11. Изменение интенсивности на поверхности земли за счет резонансных явлений в исследуемой толще учитывается тогда, когда на участке разрез представ-

Таблица 2

Справочные сведения о встречающихся значениях плотности (объемного веса), скорости распространения упругих волн и сейсмической жесткости для различных типов грунтов и горных пород

Тип породы	Плотность ρ, г/см^3	Скорость упругих волн V, км/сек				Сейсмические жесткости	
		Продольные V_p		Поперечные V_s		$V_p\rho$	$V_s\rho$
I. Скальные породы							
Граниты глубинных зон	2,9		5,6		3,2	16,2	9,4
Граниты, базальты, габбро и другие скальные породы							
невыветрелые, естественной влажности	2,5 -3,8*	2,0-7,0*	3 -5,5**	1,0-4,8*	2,8**	5 -26,6*	4,5-15,2**
выветрелые, трещиноватые, неводоносные	1,6 -2,35	1,0-3,3	1,2-3,0	0,2-0,6	0,5	1,6- 7,75	3,2- 1,4
то же, водоносные	1,65 -2,50	1,6-3,3	2,2-3,2	-	-	2,6- 8,25	3,3- 1,5
Известняки плотные	2,35 -3,0	2,4-7,0	2,8-3,2	1,1-4	1,4-1,6	6 -21	2,6-12,0
Доломиты плотные	2,4 - 3,05	3,5-7,0	4,0-6,5	1,7-4	1,8-2	8,3-21	4,1-12,2
Песчаники плотные, аргиллиты	1,5 -2,95	1,4-4,5	2,5-3,2	1,1-2	1,4-1,6	2,4-13	1,6- 6
II. Полускальные породы							
Гипсы (естественной влажности)	2,1 - 2,4	2,0-5,5	2,5-3,2	1-3	1,2-1,8	4,3-13	2,2- 7,2
Мергели (естественной влажности)	1,8 -2,8	1,1-6,0	2,6-3,5	0,4-3,4	0,5-0,6	2-16	0,7- 9,5
Глинистые сланцы	2,6 - 2,7	1,6-4,7	2,4-4,0	0,6-2,8	0,7-2	4,2-12	1,6- 7,5
III. Крупнообломочные грунты							
Валунно-галечниковые и гравийно-щебнистые отложения с песчаным заполнением							
при естественной влажности	1,8 - 2,2	0,8-1,0	-	0,3-0,6	-	1,4- 2,2	0,5- 1,3
водоносные	1,95- 2,35	2,2-3,3	-	-	-	4,3- 7,8	0,6- 1,4

Таблица 2 (продолжение)

Тип породы	Плотность ρ, г/см^3	Скорость упругих волн V, км/сек				Сейсмические жесткости	
		Продольные V_p		Поперечные V_s		$V_p\rho$	$V_s\rho$
Валунно-галечниковые и гравийно-щебнистые отложения с глинистым заполнением							
при естественной влажности	1,8 -2,2	0,8 -1,3	-	0,3 -0,8	-	1,4 -2,9	0,5-1,8
водоносные	2,0 -2,35	2,3 -3,4	-	-	-	4,6 -8,0	0,6-1,9
Песчано-глинистые отложения с гравием, галькой и валунами или со щебнем и обломками скал (пролювий)							
при естественной влажности	1,8 -2,3	0,12-0,75	-	0,036-0,5	-	0,23-1,7	0,1-1,1
водоносные	2,0 -2,4	2,2 -3,3	-	-	-	5,4 -7,9	0,1-1,1
Галечники промытые							
при естественной влажности	1,7 -2,0	0,5 -1,1	-	0,3 -0,8	-	0,85-2,2	0,6-1,6
водоносные	1,9 -2,3	1,8 -3,3	-	-	-	3,8 -7,6	0,6-1,8
IV. Песчаные несвязанные грунты							
Пески различной зернистости, чистые							
при естественной влажности	1,4 -1,6	0,2 -1,0	0,3 -0,7	0,1 -0,7	0,2-0,5	0,3 -1;6	0,2-1,1
водоносные	1,85-2,15	1,5 -1,8	-	-	-	2,8 -3,7	0,2-1,5
воздушно-сухие (сыпучие)	1,3 -1,4	0,08-0,4	0,1 -0,3	0,04 -0,3	-	0,06-0,9	0,1-0,5
Пески с примесью глинистого материала (до 5%)							
при естественной влажности	1,4 -1,6	0,3 -0,8	-	0,1 -0,6	-	0,4 -1,3	0,1-1
водоносные	1,8 -2,1	1,5 -1,75	-	-	-	2,7 -3,7	0,2-1,2

V. Глинистые грунты							
Супеси							
при естественной влажности	1,45–1,9	0,3 –0,7	0,4 –0,6	0,1 –0,35	–	0,44–1,3	0,1–0,7
водоносные	1,8 –2,0	1,7 –1,9	1,8	–	–	2,8 – 3,8	0,2–0,7
Суглинки							
при естественной влажности	1,65–2,05	0,3 –0,9	0,5 –0,8	0,08–0,45	–	0,5 –1,8	0,1 –0,9
водоносные	1,70–2,1	1,6 –1,9	–	–	–	2,8 –4,0	0,1 –0,9
Глины							
при естественной влажности	1,3 –2,0	0,85–1,4	1,1 –1,3	0,2 –0,7	0,3–0,5	1,4 –2,8	0,3 –1,4
водонасыщенные	1,80–3,25	1,75–2,2	–	–	–	3,1 –7,1	0,4 –2,3
Суглинки лёссовидные и лёссы							
при естественной влажности	1,16–1,75	0,3 –1,0	0,5 –0,7	0,1 –0,7	0,2–0,4	0,5 –2,5	0,2 –1,2
водонасыщенные, сразу же после замачивания	1,60–2,60	0,15–0,5	–	0,02–0,08	–	0,2 –1,3	0,03–0,2
водоносные	1,60–2,60	1,5 –1,8	1,6 –1,7	0,1 –0,7	–	2,4 –4,7	0,2 –1,8
VI. Насыпные грунты							
неводонасыщенные	1,30–1,50	0,03–0,3	0,2 –0,3	0,01–0,2	0,1–0,2	0,04–0,5	0,01–0,5
водонасыщенные	1,50–1,80	1,5 –1,7	–	–	–	2,2 –3,0	0,01–0,5
VII. Почвенные грунты	1,40–1,85	0,04–0,5	0,08–0,3	0,01–0,2	–	0,06–0,9	0,01–0,4

*Минимальные и максимальные значения.
**Средние.

лен однородной по величине сейсмических жесткостей толщей рыхлых отложений, подстилаемой коренными скальными или полускальными породами, характеризующимися значительно бóльшими по сравнению с рыхлыми отложениями значениями сейсмических жесткостей.

Величина этих приращений определяется:

по отношению сейсмических жесткостей толщи рыхлых отложений $V_i \rho_i$ и подстилающих коренных пород $V_0 \rho_0$ вблизи границы раздела

$$m_i = V_i \rho_i / V_0 \rho_0 ;$$

по отношению мощности рыхлой толщи H к длине соответствующей (продольной или поперечной) упругой волны $\lambda_i = V_i T_i$, соответствующей преобладающему периоду T_i

$$S_i = H / V_i T_i$$

продольных или поперечных волн в рыхлой толще.

Величина S_i рассчитывается для периодов волн от 0,1 до 0,6 сек. По вычисленным значениям m_i и S_i приращение $\Delta I_{рез}$ находится из табл. 3.

5.12. Определение $\Delta I_{рез}$ производится раздельно по значениям скоростей продольных волн (для рыхлых толщ мощностью от 10 до 200 м) и поперечных волн (для толщ мощностью от 10 до 100 м).

5.13. В расчетах суммарного приращения балльности принимается значение $\Delta I_{рез}$, максимальное из полученных по продольным и поперечным волнам. В объяснительной записке обосновывается величина принятого периода T и показывается, что этот период соответствует интенсивным колебаниям сильного землетрясения, возможного в исследуемом районе, для этого значения и для каждого участка также приводится амплитудно-частотная характеристика приращения интенсивности для расчетных периодов.

Таблица 3

Увеличение интенсивности $\Delta I_{рез}$ за счет резонансных свойств слоя грунта (в долях балла)

m_i	S_i				
	0,1; 0,6	0,2; 0,7	0,25; 0,75	0,3; 0,8	0,4; 0,9
0,1	0,2	1,2	2,5	1,2	0,2
0,2	0,2	1,1	1,7	1,1	0,2
0,3	0,2	0,9	1,3	0,9	0,2
0,4	0,2	0,8	1,0	0,8	0,2
0,5	0,2	0,6	0,7	0,6	0,2
0,6	0,1	0,5	0,5	0,5	0,1
0,7	0,1	0,3	0,4	0,3	0,1
0,8	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
0,9	0	0	0,1	0,1	0

Примечание. При S_i=0 и 0,5 $\Delta I_{рез}$=0.

5.14. Если толща рыхлых отложений, залегающих на коренных скальных породах, в пункте наблюдений представлена двуслойной системой, то построение спектральной характеристики толщи и расчет увеличения интенсивности за счет резонансных свойств производится по формулам для слоистой среды.

5.15. Приращения интенсивности за счет резонансных явлений учитываются и используются при расчетах сейсмостойкости зданий и сооружений, имеющих периоды собственных колебаний, близкие к полученным значениям периодов $\Delta I_{рез}$. Это должно быть отражено в сейсмическом микрорайонировании.

5.16. Данные об относительных приращениях интенсивности, полученные путем измерения скоростей и расчетов, указанных в пунктах 5.3–5.5, используются для составления карты сейсмического микрорайонирования, особенно в условиях слабопересеченного рельефа и относительно простого геологического строения, поскольку эти результаты могут быть получены за короткие сроки.

6. Инструментальные наблюдения при землетрясениях и взрывах

6.1. Наблюдения при землетрясениях и взрывах, в отличие от исследований грунтов с помощью наблюдений сейсморазведочного типа, базирующиеся на корреляции упругих характеристик грунтов с сейсмическим эффектом, позволяют сопоставить реакции грунтов на колебания, параметры которых могут быть связаны с разрушительными землетрясениями. Следует иметь в виду, что до настоящего времени не существует еще точного метода перехода от слабых колебаний при землетрясениях к сильным.

Для получения представительного материала с помощью этого метода требуется довольно длительное время наблюдений, определяемое сейсмической активностью района. Для слабых землетрясений в активном районе оно составляет несколько месяцев. Для получения записей относительно сильных землетрясений может потребоваться несколько лет. Это обстоятельство определяет порядок проведения работ и сроки представления материалов.

6.2. Следует предусматривать постановку двух параллельных исследований: а) регистрацию слабых и местных землетрясений и взрывов и б) регистрацию сильных землетрясений. Каждое из направлений обладает специфическими методами интерпретации материала и требует разной аппаратуры. Наблюдения при землетрясениях и взрывах следует начинать параллельно с сейсморазведочными. В зонах со сложным геологическим строением и пересеченным рельефом наблюдения за слабыми землетрясениями и удаленными взрывами следует проводить в первую очередь.

6.3. Для определения количественных характеристик сейсмических колебаний в разных грунтовых условиях организуется сеть временных сейсмических станций, снабженных соответствующей аппаратурой. Основные данные об используемой аппаратуре приведены в табл. 4 и 5.

Вокруг временных сейсмических станций размещаются сейсмометры в характерных инженерно-геологических зонах по профилям, причем в каждой зоне размещается группа приборов, для которых строятся специальные сейсмокамеры. В них располагаются только сейсмометры, не требующие ежедневного обслуживания.

6.4. Сотрясение грунта при слабых землетрясениях характеризуется спектральным составом сотрясения (амплитудно-частотной характеристикой). При проведении сейсмического микрорайонирования существенное значение имеют колебания с периодом от 0,1 до 1,0 сек. В отдельных районах следует расширить интервал исследуемых периодов, например, в случае длиннопериодных максимальных колебаний мощной толщи рыхлых отложений. Колебания с большими значениями периодов существенно влияют на здания и сооружения специального типа (башни, высотные дома и др.).

Следует иметь в виду, что более низкочастотные интенсивные колебания, хотя и не совпадают с резонансами сооружений, могут привести к нелинейным явлениям в грунтах (типа разжижения) и оказаться опасными в сейсмическом отношении. Однако этот вопрос сейчас мало изучен.

6.5. При оценке относительной сейсмической опасности на разных грунтах с помощью наблюдений за слабыми землетрясениями и взрывами следует иметь в виду, что изменению в 2 раза максимальных амплитуд смещений, скоростей или ускорений колебаний одного и того же землетрясения на сравниваемых участках соответствует изменение сейсмической интенсивности примерно на 1 балл.

Таблица 4

Характеристики некоторых типов сейсмоприемников, используемых при регистрации колебаний

Прибор, тип или марка	Диапазон измеряемых амплитуд, доли м	Рабочий диапазон частот, гц	Чувствительность, м/сек	Габариты, мм	Вес, кг
Сейсмоприемник					
СМ-2	10^{-7}-$3\cdot10^{-3}$	0,7-200	39	230×165×140	5,5
СМ-3	10^{-7}-$5\cdot10^{-3}$	0,5-200	24	230×165×140	5,5
С-5-С	10^{-7}-$15\cdot10^{-3}$	0,2-200	16	355×130×147	11
ВЭГИК	10^{-7}-$2\cdot10^{-3}$	1,0-50	20	300×135×120	10
ОСП	10^{-5}-$100\cdot10^{-3}$	0,7-40	4	140×102	4,6
(по ускорениям)	10^{-3}-15 (сек^2)	-	-	-	-
Трехкомпонентный пьезоэлектрический акселерометр					
АПТ-1	10^{-4}-2 (сек^2)	0,15-500	0,5	150×130	4,6

6.6. Вследствие различного характера колебаний грунтов на разных частотах сопоставление максимальных амплитуд колебаний для оценки приращения сейсмической интенсивности должно производиться в пределах рассматриваемого интервала периодов (0,1-1,0 сек). Например, это можно делать для коротких, средних и длинных периодов колебаний.

6.7. Измерения производятся по сейсмограммам землетрясений (взрывов), зарегистрированных с помощью идентичной аппаратуры. Целесообразно регистрировать одну горизонтальную компоненту на нескольких чувствительностях. Сейсмическая аппаратура устанавливается в пунктах с разными инженерно-геологическими условиями, а также с разными мощностями грунтов.

6.8. Если разность гипоцентральных расстояний до сейсмических станций велика (более 20% гипоцентрального расстояния), то учитывается поправка в результате различия гипоцентральных расстояний по экспериментальной кривой убывания амплитуд колебаний с расстоянием.

6.9. При сопоставлении грунтов по параметрам слабых землетрясений и взрывов следует производить раздельные оценки возможных приращений сейсмической интенсивности, в баллах:

по записям близких землетрясений, возникающих в зонах, в которых по сейсмогеологическим данным возможно возникновение очага опасного землетрясения;

по записям удаленных землетрясений для оценки поведения грунтов в более низкочастотной области спектра;

по записям взрывов, главным образом для высокочастотной части спектра.

6.10. В случае значительных расхождений оценок по разным участкам спектра колебаний следует учитывать это при сейсмическом микрорайонировании, отметив в пояснительной записке различные приращения интенсивности (в баллах) для разных периодов.

6.11. Оценки сейсмической опасности по слабым землетрясениям получаются для области малых деформаций, т.е. для области линейных колебаний. Сильные же землетрясения связаны с большими деформациями, которые могут привести к развитию в грунтах нелинейных процессов.

Поскольку надежных методов оценки нелинейных процессов в настоящее время еще нет, поэтому требуется, во-первых, исследование колебаний с помощью аппаратуры для регистрации сильных движений, и, во-вторых, развитие новых методов изучения нелинейных колебаний грунта.

6.12. При осуществлении сейсмического микрорайонирования могут использоваться спектры приведенных сейсмических ускорений, скоростей или смещений (спектры действия). При этом производится сопоставление данных спектров, полученных по показаниям сейсмических приборов, расставленных на временных станциях и в отдаленных пунктах наблюдений для регистрации слабых и сильных землетрясений. Спектры приведенных ускорений, скоростей или смещений получаются путем численного анализа записей во времени смещений, скоростей и ускорений.

6.13. Спектр приведенных сейсмических ускорений можно получить прямой регистрацией землетрясений средней и большой силы с помощью многомаятниковых сейсмометров.

Спектр $\tau(T)$ строится для диапазона периодов T от 0,1 до 1,0 сек.

Изменение интенсивности ΔI (в баллах) рассчитывается по формулам:

$$\Delta I = \frac{\lg N_1 - \lg N_2}{\lg 2},$$

$$N_{1,2} = \frac{\sum_{i}^{n} \tau_i T_i}{n},$$

где τ_i – величина приведенного сейсмического ускорения отдельного маятника; $N_{1,2}$ – приведенные скорости колебаний; T_i – период свободных колебаний маятника; n – число маятников, принятое в расчетах.

Можно рассчитать величину изменения интенсивности отдельно для коротких периодов (от 0,1 до 0,2 сек), для средних периодов (от 0,3 до 0,4 сек) и для длинных периодов (от 0,5 до 1,0 сек).

6.14. При интерпретации данных о землетрясениях и взрывах следует проводить спектральную обработку записей колебаний в виде спектра Фурье. Это необходимо для оценки резонансных явлений в грунтах (определение частотных характеристик грунтов) и также для прогнозирования спектра возможного сильного землетрясения.

6.15. Частотная характеристика грунта определяется как отношение спектров землетрясений, зарегистрированных на нем, к спектрам тех же землетрясений, зарегистрированных на подстилающих породах (скальных выходах). В случае, если регистрацию неискаженного сигнала произвести нельзя, тогда в качестве резонансных частот грунта рассматриваются частоты, наиболее часто повторяющиеся в спектрах разных землетрясений. Для определения резонансных частот лучше использовать спектр скорости колебаний грунта при землетрясениях.

6.16. Спектральный состав сотрясений, наблюдаемых на различных грунтах, может быть определен или по данным записей станций ЧИСС, или при помощи анализа сейсмограмм обычных станций на ЭВМ.

6.17. При отсутствии записей сильных землетрясений должен производиться анализ спектрального состава записей слабых землетрясений. Для выявления связей между спектрами землетрясений разной интенсивности (но происходящих в одной гипоцентральной зоне) необходимо проводить анализ колебаний в максимально возможном диапазоне величин интенсивности, чтобы уменьшить погрешности при экстраполяции.

6.18. При изучении спектров записей в качестве предварительного или дополнительного материала можно рассматривать "визуальные спектры", т.е. характеристики, полученные путем непрерывного промера амплитуд и периодов колебаний.

6.19. При визуальном способе построения спектральных характеристик колебаний грунтов с использованием совокупности сейсмограмм различных землетрясений, полученные по каждой отдельной сейсмограмме средние величины периодов и амплитуд откладываются на графике в виде отдельных точек, по которым строится обобщенная спектральная характеристика колебаний грунта.

6.20. При редкой повторяемости землетрясений в изучаемой местности для сейсмического микрорайонирования можно использовать взрывы зарядов ВВ весом в

Таблица 5

Характеристики некоторых типов осциллографов и регистриров, применяемых при записях колебаний

Прибор, тип или марка	Способ регистрации	Количество каналов	Скорость развертки, мм/мин	Тип носителя и его ширина, мм	Полоса частот, гц	Источник питания, в	Габариты, мм	Вес, кг
Осциллограф светолучевой								
Н-700	Гальванометрический	6-14	2,5; 10; 40; 160; 640; 2500	Осциллографная бумага, 120	В зависимости от гальванометра	27	470×240×290	18
ОСБ-VIM	"	6	15; 30; 60; 120; 240; 480;	То же, 280	То же	127 220	670×435×355	45
ОСБ-IM	"	6	0,15-120	То же, 120	"	220	470×240×290	16
Н-010	"	30	1; 2; 5; 10; 25; 100; 250; 1000; 2500	То же, 300	"	27	455×420×425	38
Осциллограф инженерно-сейсмический								
ИСОII	"	6	5; 10	Фото-пленка, 35	До 25	Автономное	445×240×380	13,5
Осциллограф перопишущий								
Н-002	То же, с тепловым пером	3	30; 60; 120; 240	Теплочувствительная бумажная лента, 305	0 - 8	220	590×440×210	35
Станция записи землетрясений								
СЗЗ-II	Магнитный	6	46	Магнитный барабан, 50	0,1 - 5	12	500×500×550	30

несколько тонн, производимые в скважинах и водоемах с плотным дном на расстоянии около 10 км от изучаемого участка со стороны предполагаемой эпицентральной зоны. Методика изучения колебаний, вызываемых взрывами, не отличается от изложенной выше методики наблюдения слабых землетрясений.

7. Исследования микросейсм

7.1. Исследования слабых землетрясений можно дополнять наблюдениями за фоном высокочастотных микросейсм. Объектом исследований в этом случае являются преобладающие периоды для оценки резонансных свойств грунтов и амплитудный уровень микроколебаний. Подобные наблюдения можно проводить той же аппаратурой и в том же диапазоне частот, что и при регистрации слабых землетрясений, но на бо́льших увеличениях. Следует помнить, что городские микросейсмы в настоящее время еще недостаточно исследованы, и они могут быть использованы лишь в комплексе с другими инструментальными данными.

7.2. Удовлетворительные результаты при изучении амплитудно-частотных характеристик грунтов и оценке изменений интенсивности дает исследование микросейсм в диапазоне периодов 0,1–1,0 сек. Эти микросейсмы представляют набор различных волн, возбуждаемых разными источниками, расположенными как вблизи пункта измерения, так и на расстояниях до 10–20 км.

7.3. Для регистрации указанных микросейсм используется комплект широкополосной аппаратуры с увеличением в диапазоне частот от 1 до 10 гц порядка 15 000, например, сейсмоприемники ВЭГИК с осциллографом Н-700 и гальванометрами ГБ -IV (T_2=0,07 сек).

7.4. Для определения частотной избирательности грунтов строится кривая повторяемости периодов $n = f(T_i)$ для диапазона 0,09–0,84 сек, который должен быть разбит на ряд равных интервалов (в логарифмическом масштабе). Середине каждого интервала соответствует так называемый узловой период T_i. По оси абсцисс откладываются значения узловых периодов (в логарифмическом масштабе), а по оси ординат – количество колебаний данного интервала периодов n_i в пределах изучаемого участка сейсмограммы.

7.5. Анализ кривой повторяемости осуществляется для усредненной (по четырем и более опытам) и затем преобразованной кривой

$$\bar{n}_i^{\,x} = f(T_i),$$

где $\bar{n}_i^{\,x} = \frac{n_i(T_i)}{\Delta t} \cdot 100\%$; Δt=30 сек (продолжительность отрезка записи).

Для определения преобладающих периодов $T_{пр}$ используются следующие критерии: 1) в отдельном опыте период можно считать преобладающим, если соответствующее ему число $n_i^x \geqslant 15\%$ или если при $10\% < n_i^x < 15\%$ этому периоду соответствует максимальная амплитуда; 2) преобладающим периодом грунта следует считать такой период, для которого по четырем (или более) опытам $n_i^x > 10\%$, и при этом число опытов, в которых преобладающий период приходится на один и тот же узловой период, равно или более половины всех опытов.

7.6. Следует считать, что наиболее часто встречаются следующие причины, искажающие результаты измерений микросейсм:

движение транспорта на расстоянии менее 150 м от пункта записи;

наличие в зоне исследования промышленных предприятий с источниками возбуждения вибраций (расстояние зависит от мощности источника вибраций);

присутствие в районе исследований постоянно действующих источников микросейсм, таких, как водопады, ЛЭП, высокие сооружения и т. п.;

разница в гидрометеорологических условиях в различные моменты наблюдения;

проведение различных опытов в будние и воскресные дни и т. п.

7.7. Невозможность соблюдения необходимой стандартности условий регистрации микросейсм и относительно высокий разброс значений максимальных амплитуд (порядка 20% ошибочных значений) позволяют рекомендовать использование метода измерения микросейсм при сейсмическом микрорайонировании только в комплексе с другими инструментальными методами.

8. Спектры сильных землетрясений

8.1. Для проектирования сооружений желательно сделать расчет спектров сотрясений в зонах с различными грунтовыми условиями при потенциально возможном в данном районе сильнейшем землетрясении и определить частотные характеристики этих зон.

Указанные в данном разделе работы по определению спектров сотрясений являются новыми, требующими дальнейшего совершенствования, и приводятся здесь лишь в качестве одного из возможных способов количественной оценки параметров сотрясений грунта.

8.2. Предлагаемая методика расчета основывается на экстраполяции данных, полученных для относительно слабых землетрясений, в область сильных движений. Расчет спектра производится согласно п. 8.5–8.14.

8.3. Спектр колебаний поверхности грунта зависит от параметров очага землетрясения (энергии, глубины), строения среды между очагом и пунктом регистрации, ориентации станций относительно очага, гипоцентрального расстояния и грунтово-геологических условий.

По сейсмотектоническим данным оцениваются зоны, в пределах которых возможно возникновение очага сильного землетрясения, его максимальная энергия и возможный диапазон глубин.

8.4. Подбираются сейсмограммы землетрясений, очаги которых лежат в пределах указанных зон и глубин, зарегистрированные в пределах территории, для которой рассчитывается спектр сильного землетрясения. Если в пределах интересующей территории нет инструментальных записей, то такую регистрацию следует организовать, причем станции должны быть установлены на поверхности коренных пород (на первом этапе определяется зависимость спектра от параметров очага землетрясения, среды и гипоцентрального расстояния) и на поверхности различных грунтов, слагающих различные участки исследуемой территории.

8.5. При определении зависимости спектра от какого-либо параметра (например, от энергии очага землетрясения) надо стараться исключить влияние остальных параметров, т.е. проводить сравнение для землетрясений с близкими гипоцентральными расстояниями и глубиной. Это условие будет выполнено, если спектр сильного землетрясения, очаг которого может возникнуть в определенной зоне, будет рассчитан по записям землетрясений слабой и средней силы из той же зоны.

8.6. Для расчета зависимости спектра от энергии очага выбираются сейсмограммы землетрясений в возможно более широком энергетическом диапазоне для уверенной экстраполяции вне этого диапазона. Диапазон энергий разбивается на несколько (не менее четырех) интервалов. Например, если имеются записи землетрясений в диапазоне энергий K от 7 до 14 энергетического класса, то рассчитывается средний спектр землетрясений для K=7–8; 9–10; 11–12 и 13–14. Так как спектры отдельных землетрясений внутри каждой группы отличаются друг от друга, то для получения статистически надежных средних спектров в каждой группе полезно иметь не менее 7–8 записей.

8.7. Вследствие того, что соотношение землетрясений разной энергии в группе различное, значение K, которому приписываются соответствующие параметры спектров, определяется по формуле

$$K = \frac{K_1 n + K_2 m}{n + m},$$

где n – число землетрясений с энергией K_1; m – число землетрясений с энергией K_2.

Если исходный материал большой, то средние спектры можно определять для каждого отдельного энергетического класса. Следует только иметь в виду, что с ростом энергии количество землетрясений в группах будет уменьшаться. В этом заключается трудность далекой экстраполяции.

8.8. При выборе участка для анализа полезно руководствоваться следующим:

применительно к задачам инженерной сейсмологии необходимо выбирать участок сейсмограммы с максимальной интенсивностью колебаний;

при близких землетрясениях начало этого участка чаще всего совпадает с вступлением прямой волны S;

исследования в области сейсмических воздействий показали, что при сильном землетрясении наиболее опасным для сооружения является участок максимальной интенсивности колебаний длительностью не более 10 сек;

для уверенного выделения в спектре составляющей, соответствующей периоду T, этот период должен укладываться в пределах анализируемого отрезка не менее 2–3 раз. Так как длиннопериодный край интересующего нас диапазона имеет значения $T \approx 2–3$ сек, то и с технической точки зрения длительность 10 сек представляется достаточной.

8.9. Расчет спектров производится на ЭВМ по стандартным программам. Цифровка сейсмограмм производится с принятой в программе детальностью. При достаточном обосновании можно пользоваться другими программами. Расчет спектров рекомендуется производить в диапазоне периодов от 0,05 до 2 сек.

8.10. Спектры землетрясений одной энергетической группы, построенные в логарифмическом масштабе по ординате, нормируются, т.е. приводятся к одному уровню и по ним определяется средний спектр как среднее ординат для определенной частоты. Осреднение лучше производить для целых чисел в герцах, т.е. находить среднюю ординату для 1, 2, 3 гц и т.д.

8.11. Полученный средний (по группе) спектр имеет сложную форму. Для приведения его к простому виду, имеющему аналитическое выражение, спектр сглаживается. Сглаживание заключается в том, что частотный диапазон разбивается на 5–10 интервалов. Внутри каждого интервала подсчитывается средняя ордината (средняя спектральная плотность), которая приписывается середине интервала.

8.12. Зависимость полученных параметров спектров от энергии находится графически. В качестве параметров могут быть использованы уровни спектра по ординате, положение этих уровней по частоте (периоду) и углы падения ветвей спектра. Полученные графики экстраполируются в область интересующих максимальных энергий и по ним прогнозируются параметры спектра сильного землетрясения.

8.13. На основе одновременной регистрации колебаний от близких землетрясений на участках разных грунтов определяется частотная характеристика среды в пунктах наблюдения относительно некоторого опорного пункта, размещаемого на коренных породах. Частотная характеристика рассчитывается как частное от деления спектра колебаний в каждом пункте на спектр в опорном пункте.

Частотные характеристики грунтов могут быть также определены расчетным методом на ЭВМ по программе, составленной в Институте физики Земли АН СССР, с использованием данных о мощности слоев, их плотностях и скоростях распространения сейсмических волн.

8.14. Каждой из зон, выделяемой по инженерно-геологическим данным, приписывается определенная спектральная (частотная) характеристика, представляющая собой огибающую всех возможных спектральных характеристик, соответствующих отдельным возможным случаям (грунтовым разрезам), которые по определенным признакам (литологии, мощности толщи, скорости распространения волн в толще грунта) попадают в данный комплекс грунтовых условий.

8.15. В результате выполненных исследований каждая зона районируемой территории может быть охарактеризована частотной характеристикой и расчетным спектром сильнейшего землетрясения, определенного или путем экстраполяции инструментальных данных по способу, указанному в п. 8.5–8.12, или путем умножения частотной характеристики данной зоны на расчетный спектр сильнейшего землетрясения согласно п. 8.13 и 8.14.

9. Сейсмическое микрорайонирование в условиях вечномерзлых грунтов

9.1. Для сейсмического микрорайонирования участков с мерзлотой необходимо кроме указанных ранее материалов иметь инженерно-мерзлотные карты с указанием мощности мерзлой толщи, температуры грунтов, контуров таликов и скопления подземных льдов, мерзлотных процессов и явлений с объяснительной запиской.

Указанные на этих картах характеристики в первую очередь определяют сейсмические свойства грунтов и выбор принципа эксплуатации проектируемых сооружений (с сохранением или уничтожением мерзлоты).

9.2. Для площадей с твердомерзлыми грунтами при планируемом строительстве с сохранением вечной мерзлоты составляется одна карта сейсмического микрорайонирования для естественных условий.

При наличии на исследуемой площади пластично-мерзлых грунтов и таликов или при проектируемом строительстве с уничтожением вечной мерзлоты составляются две карты сейсмического микрорайонирования: для естественных условий и для талых грунтов (карта прогноза).

9.3. Для составления карт сейсмического микрорайонирования необходимо провести комплекс инструментальных наблюдений для получения сейсмических характеристик всех мерзлотно-литологических комплексов на изучаемой территории или участке. При этом определению подлежат сейсмические жесткости грунтов и их амплитудно-частотные характеристики.

9.4. Для сокращения времени, необходимого для сейсмического микрорайонирования, наряду с регистрацией землетрясений рекомендуется использовать записи сейсмических колебаний от взрывов зарядов ВВ весом в несколько сотен килограммов на расстояниях нескольких километров от пункта наблюдения со стороны эпицентральной зоны. Благоприятные условия распространения упругих волн в мерзлых толщах пород обеспечивают получение достаточно надежных амплитудно-частотных характеристик грунтов при таких взрывах.

Наилучшие результаты достигаются при взрывах в водоемах, под которыми нет больших объемов талых грунтов. Взрывы могут проводиться также в скважинах, но при этом необходимо значительно увеличивать общий вес зарядов или уменьшать расстояние до места регистрации.

9.5. При исследовании резонансных свойств верхней толщи мерзлых грунтов необходимо учитывать также явления кумуляции сейсмической энергии в таликах в результате многократного отражения сейсмических волн от границ и интерференции волн. Для этого необходимо провести измерения амплитуд колебаний от взрывов в разных точках таликов по густой сетке.

9.6. При слабой изученности общей сейсмичности территории в окрестностях участка, подлежащего сейсмическому микрорайонированию, создается сеть полевых станций, густота которой должна быть достаточной, чтобы обеспечить получение необходимой информации об эпицентральных полях, о глубинах структур; при этом расстояния между станциями не должны превышать 40–50 км.

9.7. В области развития вечной мерзлоты карта сейсмического микрорайонирования часто является лишь вспомогательным фактором при выборе площадки строительства того или иного объекта, поскольку антимерзлотные мероприятия могут оказаться сложнее и дороже антисейсмических, вследствие чего основное значение приобретают экономические расчеты различных вариантов строительства.

9.8. Округление балла до целых единиц на карте сейсмического микрорайонирования проводится в зависимости от возможного изменения температуры мерзлого грунта под влиянием сооружений: при повышении ее – в сторону увеличения, а при понижении – в сторону уменьшения.

9.9. При отсутствии карт сейсмического микрорайонирования оценка сейсмичности производится по материалам общих инженерно-геологических и мерзлотных изысканий по согласованию с утверждающей проект инстанцией. При этом следует учитывать, что:

благоприятными в сейсмическом отношении являются вечномерзлые грунты, используемые по принципу I (СНиП, II-Б, 6-66) при условии, что нижняя граница промерзания проходит по скальным, полускальным и крупнообломочным плотным грунтам. Температура вечномерзлых грунтов не превышает – 2°;

средними являются вечномерзлые грунты, используемые по принципу I (СНиП, II-Б, 6-66), исключая указанные в предыдущем пункте. Их температура находится в пределах от 0 до –2°;

неблагоприятными в сейсмическом отношении являются оттаивающие и оттаявшие вечномерзлые грунты, используемые по принципу II (СНиП, II-Б, 6-66).

10. Порядок составления карты сейсмического микрорайонирования, утверждения и применения результатов

10.1. Результатом проведения указанных выше работ является карта сейсмического микрорайонирования территории и отчет, содержащий подробное описание проделанных исследований и обоснование выделения зон различной балльности.

Карта сейсмического микрорайонирования составляется в масштабе 1:10 000, а для очень больших территорий – в масштабе 1:25 000. В случае необходимости при достаточном обосновании масштаб может быть принят в соответствии с масштабом имеющихся инженерно-геологических карт и размерами участка.

10.2. В качестве основы карты сейсмического микрорайонирования составляется в выбранном масштабе сводная схема деления территории по инженерно-геологическим, гидрогеологическим и геоморфологическим данным, рекомендации по составлению которой описаны в разделе 4.

10.3. В том же масштабе составляется карта сейсмических характеристик грунтов (раздел 5) в виде рассчитанных приращений интенсивности для всех зон, имеющихся на инженерно-сейсмологической схеме, кроме особых участков, перечисленных в п. 4.4 и 4.5.

10.4. Сейсмическое микрорайонирование столиц союзных республик и особо важных территорий следует проводить, используя полностью все приведенные рекомендации. В случае, если для практики требуется получить сведения за сравнительно короткое время, допускается проводить лишь отдельные работы, например, определение инженерно-геологических данных и сейсмических характеристик грунтов. При этом итоговые документы могут использоваться проектирующими организациями и строителями лишь в качестве предварительной схемы сейсмического микрорайонирования.

10.5. По мере накопления данных о слабых землетрясениях и взрывах готовятся материалы для составления карты микрорайонирования. Эти материалы включают в себя расчет приращений интенсивности по отношениям амплитуд смещений (скоростей, ускорений) для отдельных землетрясений, а также расчет спектров с вычислением по ним приращений интенсивности для разных зон. Особое внимание при этом уделяется участкам, отмеченным в п. 4.4 и 4.5.

10.6. В случае простой сейсмологической ситуации и при хорошей сходимости результатов, полученных по отдельным землетрясениям, можно ограничиться обработкой 20–30 слабых землетрясений и в случае необходимости (п. 6.20) дополнить данными о взрывах. Под хорошей сходимостью результатов подразумеваются расхождения между отдельными оценками не более 0,5 балла.

10.7. При больших расхождениях в индивидуальных оценках рекомендуется проводить обработку примерно 100 землетрясений, дополненных данными о взрывах, с дальнейшим вычислением средних значений приращений интенсивности в баллах. При этом обязательно указание параметров разброса данных (стандартных отклонений, доверительных интервалов и пр.).

10.8. Приращения интенсивности, полученные по отношениям смещений (скоростей или ускорений колебаний) и по спектрам наносятся на карту районируемой территории в выбранном масштабе. Полученная таким образом схема сопоставляется с данными, полученными при изучении сейсмических характеристик грунтов, а также с инженерно-геологическими картами.

10.9. Следует иметь в виду, что ряд зон, различающихся по инженерно-геологическим данным, может оказаться схожим по инструментальным данным. Такое положение может иметь место в силу того, что различные факторы, определяющие сейсмическую опасность грунтовых комплексов, могут взаимно компенсировать друг друга (например, идентичными в сейсмическом отношении могут оказаться более жесткие, но обводненные грунты и рыхлые, но сухие).

10.10. В случае обратных соотношений, когда единые в инженерно-геологическом плане грунтовые комплексы разделяются по инструментальным данным, следует проводить повторное уточнение полученных инструментальных материалов и уточнять инженерно-геологические данные. Если в результате дополнительных работ будет подтверждено разделение единых инженерно-геологических комплексов по инстру-

ментальным данным, то последние и должны приниматься во внимание на картах сейсмического микрорайонирования.

10.11. Расхождения средних оценок приращений интенсивности в баллах, полученных по слабым землетрясениям и сейсмическим жесткостям, превышающие 0,5 балла, следует проанализировать и провести дополнительные исследования. Если же расхождение сохраняется, то путем их анализа решить какому из методов следует отдать предпочтение.

10.12. Параллельно с определением приращений интенсивности в баллах необходимо производить спектральную обработку записей землетрясений для выявления резонансных частот грунтов.

10.13. Данные о резонансных частотах колебаний грунтов, полученные по спектрам землетрясений и взрывов, дополняются расчетами с использованием данных о мощностях грунтовых слоев и скоростях распространения упругих волн.

10.14. Сводная карта сейсмического микрорайонирования должна являться результатом согласования инженерно-геологических материалов, данных изучения сейсмических характеристик грунтов, а также результатов измерения колебаний при землетрясениях и взрывах. При этом должно учитываться возможное изменение гидрогеологических условий и свойств грунтов в процессе эксплуатации проектируемых зданий и сооружений.

10.15. На сводной карте в тех местах, где имеются расхождения по разным методам инструментальных оценок, принимаются значения, соответствующие более достоверному приращению интенсивности. На границах зон приращения интенсивности переходные области относятся к районам большего приращения.

10.16. Кроме зон одинаковых приращений интенсивности в баллах на схеме сейсмического микрорайонирования желательно указать резонансные частоты (периоды) грунтов, если имеется для этого достаточно инструментальных данных.

10.17. Для столиц союзных республик и наиболее ответственных объектов районирования составляется схема расположения тектонических зон в пределах изучаемой площади, по которым возможны проявления сильных землетрясений. Наиболее достоверные сейсмотектонические зоны должны наноситься на итоговую схему сейсмического микрорайонирования (с оценкой надежности данных). Области, примыкающие к тектоническим нарушениям, должны рассматриваться на схеме сейсмического микрорайонирования отдельно, и их характеристика специально должна быть отражена в итоговом отчете.

10.18. В случае, если сейсмоактивный разрыв, по которому ожидаются подвижки, перекрывается слоем грунта толщиной d, то на полосе шириной $2d$ возможны остаточные деформации в грунтах. Однако чем больше величина d, тем меньше интенсивность этих деформаций.

10.19. Для каждой выделенной зоны сейсмоактивного разлома в пределах участка микрорайонирования должны указываться основания для ее выделения либо в примечаниях к карте, либо в объяснительной записке.

10.20. Отчет о сейсмическом микрорайонировании территории является официальным неотъемлемым от карты документом, содержащим обоснования сделанных выводов о сейсмической опасности отдельных зон.

10.21. Отчет обязательно должен включать в себя следующие основные разделы:

описание и результаты сейсмологических, геологических, макросейсмических и палеосейсмогеологических исследований, на основании которых локализуются (в масштабе региона) возможные области возникновения сильных землетрясений, опасных для изучаемой территории, а также дается заключение о вероятной максимальной интенсивности землетрясения на данной территории;

описание и результаты инженерно-геологических, гидрогеологических и геоморфологических исследований и обоснование разделения территории на зоны по этим данным;

описание и результаты всех примененных методов инструментальных исследований с обоснованием разделения территории на зоны по приращениям интенсивности;

обоснование выбора среднего грунта и классификации зон по абсолютным значениям возможного балла максимального землетрясения.

10.22. Отчет должен содержать все фактические материалы и промежуточные данные по каждому из использованных методов изучения территории (в тексте и приложениях).

10.23. Карта сейсмического микрорайонирования со всеми приложениями и пояснительной запиской к ней проходит экспертизу, после чего рассматривается на ученом совете научно-исследовательского института и техническом совете изыскательской организации, проводивших работы, а затем представляется на утверждение в Госстрой союзной республики.

Карты сейсмического микрорайонирования крупных городов (с населением 500 тыс. человек и более) и территории развивающихся промышленных комплексов кроме того рассматриваются Междуведомственным советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР и рекомендуются к утверждению Госстрою союзной республики.

10.24. Карта сейсмического микрорайонирования используется при разработке или корректировке генерального плана города, поселка или территории, а также при составлении схем строительного зонирования по этажности и схем озеленения города или поселка. Материалы сейсмического микрорайонирования используются для установления оптимальной этажности застройки каждой сейсмической зоны, а также для разделения селитебной территории на части системой озеленения и открытых пространств, препятствующими распространению пожаров.

10.25. При проведении работ по составлению схем районной планировки экономических районов, расположенных в сейсмически опасных зонах, выбор площадок под новые города, поселки и промышленные предприятия следует проводить так, чтобы они размещались на территориях с наиболее благоприятными в сейсмическом отношении условиями. Пригодность выбранной площадки рекомендуется обосновать материалами сейсмических исследований, а в особо ответственных случаях проведением сейсмического микрорайонирования для каждого варианта размещения поселка.

Рекомендуемая литература

Э.М. Антоненко, С.А. Прокушина. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Каскелена. – Труды Ин-та геологич. наук. Ан Каз ССР. Алма-Ата, 1968.

Б.Б. Бегиев, В.А. Нечаев. Инженерно-сейсмологическая служба в г. Душанбе за 1967-1970 гг. Душанбе, "Дониш", 1971.

И.С. Берзон, А.М. Епинатьева, Г.Н. Парийская, С.П. Стародубровская. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах. М., Изд-во АН СССР, 1962.

Ф. Берч, Д. Шерер, Г. Спейсер. Справочник для геолога по физическим константам. ИЛ, 1949.

Е.М. Василенко. Сейсмическое микрорайонирование территории городов Берегово, Ужгорода и Черновцов по геологическим данным. – Кн. "Сейсмичность Украины". Киев. "Наукова думка", 1969.

Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 1-14. Труды ИФЗ АН СССР. М., "Наука", 1958-1971.

И.И. Гурвич. Сейсморазведка. М., "Недра", 1970.

И.А. Ершов. Об использовании микроколебаний для определения частотных особенностей грунта. – Сб. "Сейсмическое движение грунта". М., "Наука", 1970.

И.А. Ершов, Г.А. Лямзина. О применении микроколебаний для прогнозирования сейсмического воздействия сильного землетрясения. – Сб. "Сейсмические исследования для строительства". М., "Наука", 1971.

Землетрясения в СССР. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Изучение сейсмической опасности. Под ред. Ю.В. Ризниченко. Ташкент, "Фан", 1971.

А.З. Кац. Сейсмическое микрорайонирование с учетом изменения параметров колебаний и напряжений с глубиной. – Сб. "Сейсмическое движение грунта". М., "Наука", 1970.

Е.А. Коридалин, С.В. Медведев, Д.Н. Рустанович, В.А. Токмаков, Д. Хаджиевский. Сейсмическое микрорайонирование г. Скопле по инструментальным данным. – Докл. АН СССР, 1967, т. 175, № 2.

Н.Д. Красников. Динамические свойства грунтов и методы их определения. Л., Изд-во лит. по строит., 1970.

В.Н. Крестников. Количественная оценка изменения контрастности вертикальных геотектонических движений. – Геотектоника, 1969, № 3.
П.П. Кульмач. Сейсмостойкость портовых гидротехнических сооружений. М., "Транспорт", 1970.
Г.А. Лямзина. Об определении сейсмических свойств грунтов при помощи передвижной сейсмической станции. – Труды ИФЗ АН СССР, 1960, № 10 (177).
А.Б. Максимов. О сейсмической жесткости грунтов. – Кн. "Экспериментальная сейсмология". М., "Наука", 1971.
С.В. Медведев. Инженерная сейсмология. М., Госстройиздат, 1962.
Методы детального изучения сейсмичности. Под ред. Ю.В. Ризниченко. – Труды ИФЗ АН СССР, 1960, № 9 (176).
В.М. Мирзаев, В.И. Уломов, А.И. Захарова, Р.Н. Ибрагимов. Сейсмическое микрорайонирование Ташкента. Ташкент, "Фан", 1969.
А.Г. Назаров. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван, Изд-во АН Арм ССР, 1959.
И.Л. Нерсесов, В.П. Грин, К.Джанузаков. О сейсмическом районировании бассейна реки Нарын. Фрунзе, Изд-во АН Кирг ССР, 1960.
И.Л. Нерсесов, Т.Г. Раутиан, В.И. Халтурин, Ю.В. Ризниченко. Инструкция по динамическим измерениям на сейсмограммах. – Труды ИФЗ АН СССР, 1961, № 17 (184).
А.В. Николаев. Сейсмические свойства грунтов. М., "Наука", 1965.
А.В. Николаев. О сейсмическом эффекте сильных землетрясений на рыхлых грунтах. – Бюлл. по инж. сейсмол. Ереван, 1970, № 6.
С.А. Пирузян. Опыт детального сейсмического районирования территории Большого Ереванского района. Ереван, "Аистан", 1969.
С.В. Поляков. Сейсмостойкие конструкции зданий. М., "Высшая школа", 1969.
Руководство по проектированию сейсмостойких зданий и сооружений, т. 1–4. М., Стройиздат, 1968–1971.
Е.Ф. Саваренский, Д.П. Кирнос. Элементы сейсмологии и сейсмометрии. М., Гостехиздат, 1955.
Сейсмическое районирование территории СССР. Под ред. С.В. Медведева. М., "Наука", 1968.
Сейсмическое микрорайонирование г. Махачкалы. Махачкала, Дагестанское книжн. изд-во, 1970.
Сейсмическое микрорайонирование Улан-Батора. Под ред. С.В. Медведева. М., "Наука", 1971.
Е.М. Сергеев и др. Грунтоведение. Изд-во МГУ, 1971.
Строительные нормы и правила, СНиП, II-А, 12-69. М., Стройиздат, 1970.
Ташкентское землетрясение 1966 года. Ташкент, "Фан", 1970.
Н.В. Шебалин. О макросейсмической основе сейсмического микрорайонирования. – Сб. "Сейсмическое движение грунта". М., "Наука", 1970.
В.А. Шемшурин. Таблицы геофизических параметров четвертичных отложений территории РСФСР. М., изд. ЦТИСИЗ, 1970.
В.В. Штейнберг. Оценка спектров сотрясений для территории с определенными сейсмотектоническими и грунтово-геологическими условиями. – Сб. "Сейсмические исследования для строительства". М., "Наука", 1971.
Э.М. Эсенов, Р.Д. Непесов, А.Н. Вахтанова. О сейсмическом микрорайонировании территорий городов Туркменской ССР. – Изв. АН Туркм. ССР, серия физ.-техн., хим. и геол. наук, 1970, № 3.

gost.e-ecolog.ru