

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ

На правах рукописи

Брыжак Евгений Вадимович

**Оценка сейсмических воздействий сильных
землетрясений юго-западного фланга Байкальской
рифтовой зоны**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Научный руководитель

Доктор геол.-мин. наук,
В.И. Джурик

Иркутск – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. РАСЧЁТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЙ СИГНАЛ	7
1.1. Сравнительный анализ результатов расчетных методов оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал.....	7
1.2. Способ повышения эффективности расчетных методов оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал.....	12
1.3. Комплекс вспомогательных программ.....	18
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СПЕКТРОВ АКСЕЛЕРОГРАММ С МАГНИТУДОЙ И РАССТОЯНИЕМ	25
2.1. Влияние верхней зоны разреза на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала на примере сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья.....	26
2.2. Эмпирические связи между основными динамическими характеристиками ускорений грунта от магнитуды и расстояния.....	39
2.3. Спектры ускорений колебаний, возбуждаемых землетрясениями юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны.....	54
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	69
3.1. Краткий обзор методов формирования исходного сигнала.....	69
3.2. Расчет акселерограмм сильных землетрясений для г. Иркутска из различных зон ВОЗ.....	74
3.3. Методика формирования исходного сейсмического сигнала с целью районирования сейсмической опасности городских агломераций.....	81
3.4. Пример использования методики формирования исходного сейсмического сигнала при комплексной оценке сейсмической опасности участка строительства аэропорта «Горячинск».....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	114
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРОГРАММНЫЙ КОД	125
Графическая оболочка, повышающая эффективность расчётных методов оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал.....	125
Программа конвертации файлов из формата «Диоген» в формат XXxx.....	148
Программа обработки сейсмограмм по методу преломленных волн.....	153
Программа конвертации из формата XXxx в формат SAF.....	166
Программа создания KML-файлов.....	169
Программа сохранения акселерограмм в формат Excel.....	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Сейсмические воздействия (амплитуды, длительность, спектральный состав и другие параметры акселерограмм и их спектров) характеризуют колебательное движение грунта при землетрясениях и поэтому являются основой при количественном сейсмическом районировании различной степени детальности. Очевидно, что в первую очередь для их оценки для каждого региона важно знать спектральный состав колебаний тех или иных грунтов при сильных землетрясениях. Однако относительная редкость возникновения последних и отсутствие на сегодняшний день местной инженерно-сейсмологической сети станций, необходимой для мониторинга различных кинематических элементов движений почвы при относительно сильных землетрясениях на различных по составу и состоянию грунтах, служащих основаниями сооружений, значительно усложняют эту задачу.

Целью настоящей работы является рассмотрение сейсмических воздействий и их возможного прогнозирования для Байкальской рифтовой зоны. При этом необходимо получить не только спектры ускорений колебаний грунта при сильных землетрясениях, но и сами прогнозные акселерограммы, позволяющие оценить параметры сейсмических воздействий (амплитуды, длительность, спектральный состав и др.).

Основные задачи исследований:

1. Анализ основных методов, позволяющих учесть влияние грунтовых условий на записи землетрясений на сейсмических станциях и сейсмические воздействия на здания и сооружения.
2. Разработка программ по повышению эффективности расчётных методов учёта влияния грунтовых условий и других вспомогательных программ.
3. Анализ основных параметров сильных движений грунта в Байкальской рифтовой зоне за последние десять лет.
4. Получение эмпирических зависимостей основных динамических характеристик ускорений колебаний грунта от магнитуды и расстояния.
5. Реализация прогноза записей акселерограмм для различных эпицентральных расстояний, магнитуд и сейсмических воздействий для конкретных территорий БРЗ на случай сильных землетрясений.
6. Рассмотрение возможности применения расчётных акселерограмм при комплексной оценке сейсмической опасности территорий БРЗ.

Защищаемые положения:

1. Выбранный комплекс методов (инструментальных и расчетных) и разработанный пакет вспомогательных программ позволяют получить амплитудно-частотные и спектральные характеристики верхней зоны разреза, которые необходимы для оценки сейсмических воздействий сильных землетрясений.
2. Установленные эмпирические зависимости основных динамических характеристик ускорений колебаний грунта при землетрясениях от магнитуды и расстояния дают возможность реализовать прогноз акселерограмм сильных землетрясений для конкретных территорий Байкальской рифтовой зоны.
3. Разработанная методика формирования исходного сейсмического сигнала с учетом основных параметров зон возникновения очагов землетрясений является основой получения количественных характеристик сейсмических воздействий на здания и сооружения при районировании сейсмической опасности различной степени детальности. Это положение реализовано на примере конкретной строительной площадки.

Личный вклад и фактический материал. Исходными материалами в работе послужили инженерно-геофизические изыскания, проведенные на сейсмических станциях Прибайкалья и отдельных площадках в пределах Байкальской рифтовой зоны лабораторией инженерной сейсмологии и сейсмогеологии ИЗК СО РАН. Автор лично принимал участие во многих исследованиях, как на стадии измерений, так и на стадии интерпретации полученных геофизических параметров. Были выполнены следующие виды работ: сейсморазведка методом преломленных волн, электроразведка методами вертикального электрического зондирования, запись микросейсмоколебаний. Получен очень большой фактический материал. Также были использованы записи акселерограмм относительно сильных землетрясений сейсмическими станциями Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН (БФ ГС СО РАН), произведенных в течение 1999 – 2012 годов.

Научная новизна. В настоящей работе предложен способ повышения эффективности расчетных методов оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал и разработано соответствующее программное обеспечение. Впервые для сейсмических станций Прибайкалья определены частотные характеристики верхней толщи разреза. Приведены основные параметры сильных движений грунта в Байкальской рифтовой зоне за последние десять лет. Получены эмпирические зависимости основных динамических характеристик ускорений грунта от магнитуды и расстояния. Показана возможность прогноза записей акселерограмм для различных эпицентральных расстояний

и магнитуд. На основе этого прогноза по имеющимся экспериментальным записям ускорений для некоторых территорий БРЗ рассчитаны средние амплитудные спектры, которые приведены к потенциально возможным магнитудам зон ВОЗ. Из этих спектров формируется исходный сейсмический сигнал, используемый для количественной оценки сейсмической опасности.

Практическая значимость. В приведенной методике формирования исходного сейсмического сигнала были использованы основные параметры сильных движений грунта в Байкальской рифтовой зоне за последние десять лет. Сформированный исходный сейсмический сигнал на примере г. Иркутска учитывает основные параметры зон ВОЗ и полученные эмпирические зависимости основных динамических характеристик ускорений грунта от магнитуды и расстояния, которые позволяют прогнозировать записи акселерограмм для различных эпицентральных расстояний и магнитуд. Таким образом, он является наиболее обоснованным для территории г. Иркутска и иркутской агломерации. В работе показана возможность использования полученного исходного сигнала и проведены теоретические расчеты для сейсмогрунтовых моделей, характеризующих вероятностные модели эталона для коренных пород (грунтов 1-й категории), средних грунтов (2-й категории) и водонасыщенных грунтов. Получены оценки сейсмических воздействий для зоны с исходной сейсмичностью 8 баллов, и используя модели эталона, для 9-балльной зоны с различной по мощности грунтовой толщей водонасыщенных и неводонасыщенных грунтов. Безусловно, что полученные результаты могут уточняться в дальнейшем, но уже сейчас их можно использовать при планировании возможного строительства на территории иркутской агломерации.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из трёх глав, введения, заключения и приложения общим объёмом 172 стр. машинописного текста, 19 таблиц, 51 рисунок, библиографии 147 наименований.

Апробация работы и публикации. Основные результаты и отдельные методические разработки диссертации докладывались на IV международной научно-практической конференции «Геокриологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий» (Чита, 2010 г.), на 4-й конференции геокриологов России (Москва, 2011 г.), на XXIV Всероссийской молодёжной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2011 г.), на IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике (Иркутск, 2011 г.), на Всероссийском совещании «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследования на количественной основе» (Иркутск, 2012 г.), на 9-й Генеральной ассамблее Азиатской сейсмологической комиссии (Улан-Батор, Монголия, 2012 г.), на Генеральной Ассамблее

Европейского союза геонаук (Вена, Австрия, 2013 г.), на IV Всероссийской научно-практической конференции «Геодинамика и минерагения Северо-Восточной Азии» (Улан-Удэ, 2013 г.)

По теме диссертации опубликовано 36 работ, 8 из них в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК.

ГЛАВА 1. РАСЧЁТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЙ СИГНАЛ

В настоящей работе расчётные методы оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал используются для решения как обратной задачи (глава 2), так и прямой задачи (глава 3) использования амплитудно-частотной характеристики верхней зоны разреза для получения сейсмического сигнала на дневной поверхности и коренном основании. Поэтому настоящая глава целиком посвящена этим методам.

1.1. Сравнительный анализ результатов расчетных методов оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал

При проведении сейсмического микрорайонирования важно знать спектральный состав колебаний тех или иных грунтов при сильных землетрясениях. Однако относительная реальность возникновения последних и слаборазвитая на сегодняшний день сеть сейсмостанций для записи различных кинематических элементов движений грунта, при сильных землетрясениях, значительно усложняют эту задачу. Поэтому целью настоящей работы является анализ существующих расчетных методов, выбор из них тех которые отвечают требованиям необходимым для решения поставленных задач и проведения по ним расчетов сейсмических воздействий.

В задачах сейсмического микрорайонирования принято использовать различные расчетные методы, позволяющие приближенно оценить возможные резонансные периоды грунта и вид ожидаемых акселерограмм [Сейсмическое микрорайонирование..., 1984]. Расчетные методы как наиболее оперативные и менее трудоемкие широко применяются для оценки сейсмоопасности коренных систем грунт-сооружение, так как к настоящему времени накоплен неоспоримый опыт, свидетельствующий о том, что балльность однозначно не определяет сейсмическую опасность колебаний грунтов при землетрясениях расчетной интенсивности. Для проектирования сейсмостойких сооружений необходимы данные о преобладающих частотах при сильных землетрясениях, о длительности колебаний, форме спектров колебаний и другие [Джурик, Методика формирования..., 2012]. Расчет ответственных сооружений рекомендуется проводить непосредственно с использованием акселерограмм сильных землетрясений, поскольку частотный состав колебаний при слабых землетрясениях, форма их спектров не соответствуют спектральному составу колебаний при сильных землетрясениях.

В анализ, для прогноза поведения грунтов при сильных сейсмических воздействиях, согласно нормативным документам по сейсмическому микрорайонированию [РСН 65-87, 1988], из расчетных методов включены: метод тонкослоистых сред (МТС) и метод конечных элементов (МКЭ). Первый из них используется для расчетов сейсмических воздействий оснований линейных сооружений представленных моделями плоскопараллельных слоистых сред, а второй – для сред с границами раздела произвольной геометрической формы.

Использование расчетных методов закреплено в действующих в Российской Федерации нормативных документах по инженерно-строительным изысканиям. Согласно п. 4.3 РСН 60-86 от 1 января 1987 г. «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ» и пп. 4.2 и 4.3 РСН 65-87 от 1 января 1988 г. «Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования производства работ» для теоретических расчетов сейсмических воздействий моделей плоскопараллельных слоистых сред следует использовать метод тонкослоистых сред (МТС), а для теоретических расчетов модельных сред с границами раздела произвольной геометрической формы – метод конечных элементов (МКЭ).

В МТС решается двумерная задача распространения плоских P- или SV-волн в тонкослоистой зоне, подстилаемой упругим полупространством, со свободной верхней границей [Ратникова, 1984]. В полупространстве находится импульсный источник типа центра расширения, плоская волна падает на тонкослоистую зону под произвольным углом. Параметрами модели являются скорости P- и S-волн, плотности и декременты поглощения в каждом слое. Результатами расчета по данному методу являются акселерограммы горизонтальной и вертикальной составляющей и амплитудно-частотная характеристика тонкослоистой зоны.

В МКЭ грунтовая модель представляет собой совокупность элементов, образующих произвольные границы раздела [Гогелия, 1977]. Исходными данными являются номера закрепленных узлов, объемная масса, коэффициент Пуассона и динамический модуль упругости для каждого элемента, а также номера узлов, для которых выдаются результаты расчетов. Выходными данными в МКЭ являются расчетные акселерограммы по заданным точкам разреза, графики коэффициента динамичности и спектры реакций по тем же точкам.

К расчетным также относятся метод многократно отраженных волн, являющийся численным методом волновой механики, и метод конечных разностей. В последнем методе грунтовая модель представляется в виде горизонтальных слоев с различными

физико-механическими свойствами, каждый однородный слой разбивается на определенное число подслоев в соответствии с выбранной конечно-разностной схемой.

Необходимо отметить и методы, учитывающие нелинейные свойства грунтов. Такие методы реализованы, например, в программах SHAKE и EERA [Заалишвили, 2009; Bardet, 2000], основой которых является эквивалентное линейное приближение в модификации модели Кельвина-Фогхта, а также в программе NERA [Заалишвили, 2009; Bardet, 2001], позволяющей вычислять нелинейную реакцию грунтовой толщи на сейсмические воздействия.

Макросейсмическое обследование территорий, подвергшихся сильным и разрушительным землетрясениям, показывает, что реальный сейсмический эффект может не соответствовать прогнозу, полученному различными методами СМР. Это объясняется в том числе и возникающими в грунтах нелинейными явлениями, т.к. теоретические исследования особенностей распространения упругопластических волн в мягких грунтах приводят к выводам о необходимости учета неупругих параметров колебаний при определении возможного сейсмического эффекта. [Сейсмическое микрорайонирование, 1984]

При умеренном сейсмическом воздействии поведение грунтов не выходит за рамки основных положений теории упругости, согласно которым нормальные напряжения линейно зависят от деформаций. Но при интенсивных сейсмических воздействиях в грунтах возникают явления, которые не могут быть описаны с помощью линейной теории упругости. Вопрос о наличии нелинейной связи напряжений и деформаций имеет большое значение при проектировании зданий и сооружений в сейсмоактивных районах с интенсивностью возможных сотрясений более 7 баллов.

Следует отметить, что хотя эмпирические способы СМР так или иначе учитывают нелинейные свойства грунтов, в некоторых пределах ответ на вопрос о поведении грунта и о проявлении этого эффекта на поверхности можно получить расчетными методами.

Основным недостатком расчетных методов, учитывающих нелинейные явления (например, таких как NERA, EERA [Bardet, A computer program..., 2001]), является ограничение типов рассматриваемых волн, механизма обмена и углов подхода сейсмического луча. Поэтому в случае падения на горизонтально-слоистую грунтовую толщу из упругого полупространства волн различных типов (P, SV) при произвольных углах подхода применяется метод тонкослоистых сред (МТС), разработанный Л.И. Ратниковой. [Сейсмическое микрорайонирование, 1984]

В качестве примера приведем влияние различных параметров на резонансную частоту грунтовой толщи на примере 8-ми вероятностных сейсмических моделей,

характеризующих естественное и прогнозируемое состояние грунтов для двух участков на территории Южной Якутии, исследованных ранее комплексом инструментальных и расчетных методов. [Джурик, Инженерно-сейсмологическое обеспечение..., 2011]

Для участка железнодорожной станции «Икабьекан» характерны делювиальные отложения, они представлены в основном супесями с щебнем. Пески, супеси, галечники с включениями льда являются основой водно-ледникового комплекса. Грунты многолетнемерзлые, с поверхности талые, в естественном состоянии представлены чередованием талых неводонасыщенных рыхлых грунтов (до 6-14 м) и твердомерзлых, которые залегают ниже слоя сезонного оттаивания. В прогнозируемом состоянии разрез сверху представляется талыми неводонасыщенными рыхлыми грунтами (от 2 до 12 м), ниже идут водонасыщенные грунты мощностью до 15-20 м, подстилаются они мерзлыми грунтами с постепенным переходом от слоя с температурой от 0 до -1°C и далее до -2°C. В восточной части разреза эти слои на незначительных расстояниях по разрезу залегают практически с поверхности, коренные породы со значениями акустических жесткостей, близких к эталонным, залегают с глубины 20-40 м. Разрез для естественного состояния грунтов представляется моделями 2, 3 и 4, а для прогнозируемого – моделями 6, 7 и 8 (см. табл. 1.1). В первом случае максимальные для горизонтальной компоненты ускорения меняются от 230 до 480 см/с², во втором – от 248 до 860 см/с². Резонансные частоты имеют максимальные значения для модели 4 (15,7 Гц) и минимальные – для модели 3 (5,8 Гц), а для моделей 6, 7 и 8 частоты закономерно снижаются от 14 до 6 Гц.

Основой инженерно-геологического разреза участка мостового перехода через р. Кунг-Юрях являются речные отложения, в состав которых входят пески, суглинки и галечниковый грунт. Грунты руслового участка насыщены водой. Делювиальные отложения представлены глыбовым материалом. Пески, супеси и галечниковый грунт с включением песка и валунов формируют образования водно-ледникового комплекса. На береговых участках коренные породы залегают практически с поверхности. Грунты многолетнемерзлые, на русловом участке талик. Для этого участка прогнозируется частичное оттаивание грунтов в результате строительства, которое приводит к увеличению мощности водонасыщенных рыхлых грунтов (до 20 м) и простираения их по оси мостового перехода. При этом смещаются по глубине и по створу линейного сооружения границы мерзлоты с различной отрицательной температурой. Разрез по оси мостового перехода для естественного состояния грунтов представляется моделями 1, 3, 4, 5 и 7, а для прогнозируемого – моделями 1, 3, 7 и 8 (см. табл. 1.1). Максимальные для горизонтальной компоненты ускорения меняются для обоих состояний в пределах от 208

до 860 см/с^2 . Максимальные значения ускорений и минимальные резонансные частоты имеют русловые участки.

Таблица 1.1

Параметры вероятностных сейсмических моделей

№ модели	Тип (состояние) грунта	h (м)	V_P (м/с)	V_S (м/с)	ρ (т/м ³)	ΔI (баллы)	A_{\max} (см/с ²) NS	I (баллы) Резонансная частота f (Гц)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коренные породы, модель эталона								
1	Коренные породы (мерзлые)	10	2700	1450	2,5	-1	208	8
		∞	3000	1600	2,6			>20
Естественное состояние грунтов								
2	Рыхлые талые до 10м. Ниже мерзлые с 20м эталонные	2	600	300	1,8	0	434	9
		8	800	400	1,9			10,4
		10	2500	1300	2,1			
		10	2700	1450	2,5			
		∞	3000	1600	2,6			
3	Рыхлые талые до 20м. Ниже эталонные	2	600	300	1,8	0	480	9
		8	800	400	1,9			5,8
		10	900	450	2,0			
		10	2700	1450	2,5			
		∞	3000	1600	2,6			
4	Мерзлые рыхлые, (T<-2°C) Коренные породы	10	2500	1300	2,0	-1	230	8
		20	2600	1360	2,1			15,7
		10	2700	1450	2,5			
		∞	3000	1600	2,6			
5	Рыхлые водонасыщенные мерзлые (-1°C) коренные породы	14	1700	520	2,1	+1	820	10
		20	2600	1360	2,1			9
		10	2700	1450	2,5			
		∞	3000	1600	2,6			
Прогнозируемое состояние грунтов								
6	Рыхлые мерзлые (-1°C) мерзлые (-2°C) коренные породы	4	800	400	1,9	-1	248	8
		12	2500	1300	2,0			14
		22	2600	1360	2,1			
		10	2700	1450	2,5			
		∞	3000	1600	2,6			
7	Рыхлые водонасыщенные мерзлые (-1°C) коренные породы	9	800	400	1,9	0	510	9
		12	1700	520	2,1			7
		18	2600	1360	2,1			
		10	2700	1450	2,5			
		∞	3000	1600	2,6			
8	Рыхлые водонасыщенные мерзлые (-1°C) коренные породы	3	800	400	1,9	+1	860	10
		18	1700	520	2,1			6
		20	2600	1360	2,1			
		10	2700	1450	2,5			
		∞	3000	1600	2,6			

Для представленных сейсмогрунтовых моделей проведены расчеты по различным методам с учетом угла подхода, поглощения и нелинейных явлений. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.2.

Из рассмотренного примера видно, что для представленных моделей изменение угла подхода с 30° до 0° дает уменьшение резонансной частоты на значение от 0,26 до 5 Гц. Самое значительное изменение характерно для моделей 4 и 6. Влияние поглощения не столь велико, а учет нелинейных явлений уменьшает расчетную резонансную частоту для рассмотренных моделей. Наибольшего совпадения по резонансным частотам удалось добиться по программам EERA и MTC, когда при расчетах не учитывается угол подхода, поглощение и нелинейные явления. Отличие результатов расчета по программе NERA в ином физическом подходе, о чем упоминают и сами авторы. [Bardet, A computer program..., 2001]

Таблица 1.2

Расчетные резонансные частоты

№ модели	MTC (угол подхода 30°)	MTC (угол подхода $\approx 0^\circ$)	MTC (угол подхода $\approx 0^\circ$, без учета поглощения)	NERA (без учета нелинейных явлений)	EERA (без учета нелинейных явлений)	NERA (с учетом нелинейных явлений)	EERA (с учетом нелинейных явлений)
1	>20	>20	>20	>20	>20	>20	>20
2	10,4	9,91	9,47	8,19	9,4	7,874	9
3	5,8	5,66	5,57	5,225	5,6	4,590	4,8
4	15,7	10,16	10,35	8,801	10,2	8,801	10,2
5	9	8,01	8,15	6,689	8,2	6,689	8,2
6	14	9,03	9,47	7,3	9,2–9,8	7,29	9,4
7	7	5,76	5,71	5,05	5,6	4,98	5,6
8	6	5,66	5,71	4,93	5,8	4,93	5,8

1.2. Способ повышения эффективности расчетных методов оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал

Программное обеспечение, реализующее данные методы, разработано в 70-80-е годы прошлого века, и их теоретическая основа не вызывает возражений. Однако информационные технологии за последние годы ушли далеко вперед, и с точки зрения программной реализации данное программное обеспечение сильно устарело. К примеру, оно не имеет графического интерфейса, а ввод и вывод данных организован с помощью файлов. Это создает определенные неудобства, т.к. пользователю необходимо вручную редактировать формат вводимых данных и представлять результаты расчетов в графическом виде. Если же метод реализован в виде комплекса программ, то для каждой из них осуществляется описанный трудоемкий и затратный по времени процесс. Это крайне не эффективно к примеру для районирования протяженных линейных сооружений,

грунтовые условия для которых представляются большим количеством сейсмо-грунтовых моделей. В то же время, нецелесообразным было бы вносить коррективы в уже отлаженный и имеющий проверенную многолетней инженерной практикой теоретическую основу программный код. Поэтому предлагается иной подход. Не внося коррективы в исходный код, разработать графическую оболочку для указанного комплекса программ, которая бы автоматизировала процесс работы с файловой системой и имела бы удобный графический интерфейс, облегчающий ввод данных.

Такая графическая оболочка была разработана для комплекса программ, производящих расчет сейсмических воздействий по методу тонкослоистых сред (МТС). Использовался язык программирования С# и библиотека классов .NET Framework [Нейгел, С# 2005..., 2008]. Программа полностью автоматизирует процесс работы с комплексом консольных приложений и формируемых ими файлов. Результаты расчетов записываются в текстовом и графическом виде в файл с расширением xls, с которым в дальнейшем можно работать в программе Excel и др. Она позволяет в несколько раз сократить время расчетов, а соответственно и повысить эффективность использования данного метода сейсмического микрорайонирования.

Кратко рассмотрим графический интерфейс разработанной программы.

Добавление файла сейсмической записи. Добавить файл сейсмической записи можно 4 способами:

- Через меню **Файл**→**Добавить**;
- Соответствующей кнопкой на панели инструментов;
- Сочетанием клавиш **Ctrl+N**;
- Скопировать файл вручную в директорию *in* (находится в той же папке, что и exe-файл программы).

Появляется окно в котором можно выбрать как один файл, так и несколько сразу (рис.

1.1). После нажатия кнопки **Открыть** файлы появятся в столбце **Входной файл** (рис. 1.2).

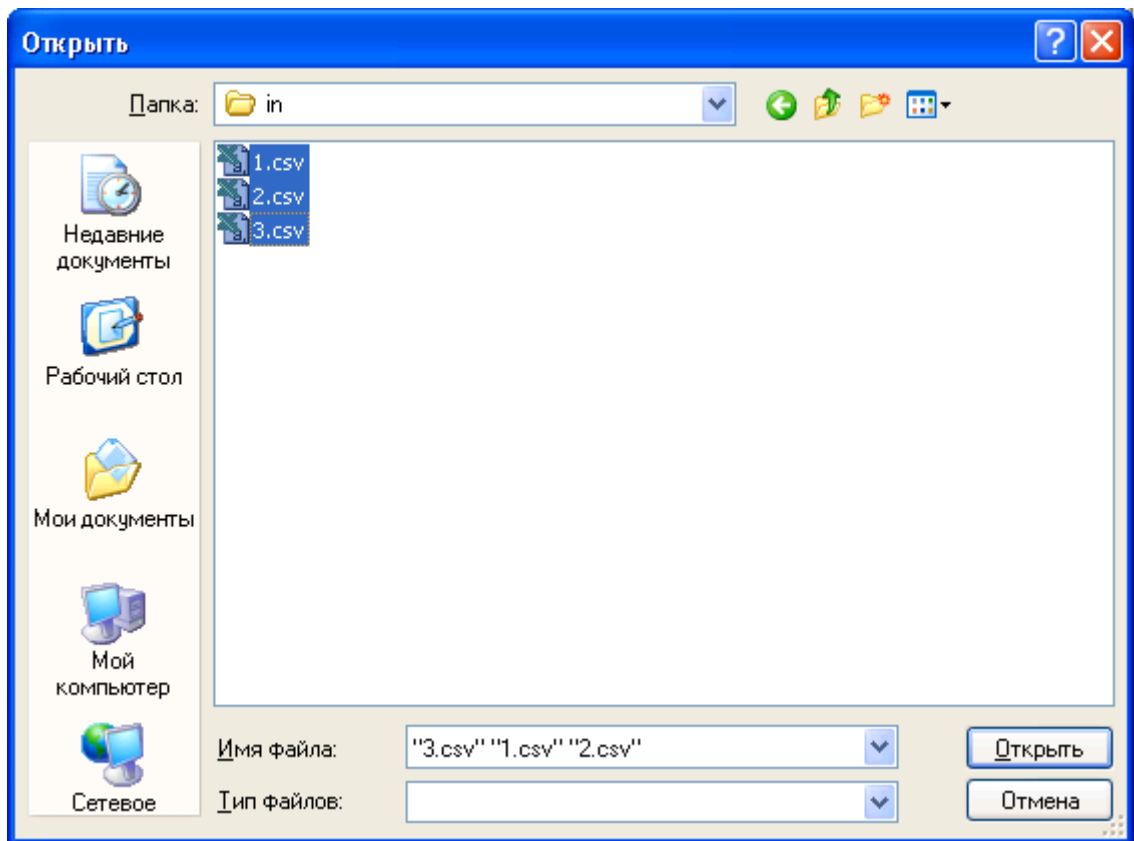


Рис. 1.1. Окно открытия файлов сейсмических записей.

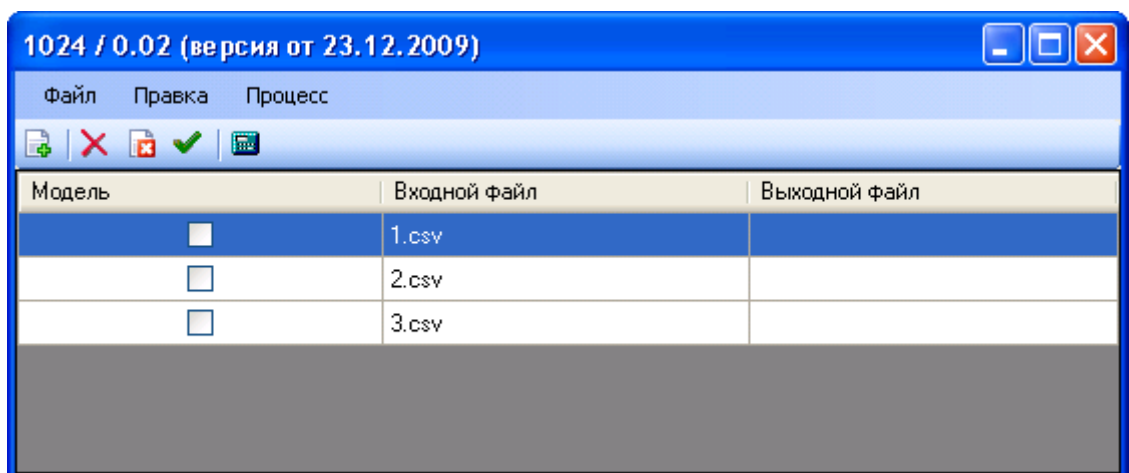


Рис. 1.2. Главное окно программы.

Задание параметров модели для сейсмической записи. Если в столбце *Модель* не поставлена галочка (рис. 2), это означает, что модель для сейсмической записи еще не задана. Задать модель можно 4 способами:

- Через меню *Правка*→*Модель*;
- Соответствующей кнопкой на панели инструментов;
- Сочетанием клавиш *Ctrl+M*;

- Скопировать готовый файл с параметрами модели вручную в директорию *parmodel* (находится в той же папке, что и exe-файл программы).

Появляется окно, в котором редактируются параметры модели (рис. 1.3). В заголовке окна указано имя сейсмической записи, для которой ведется редактирование. Количество слоев регулируется с помощью кнопок «+» и «х» (нажатие «+» добавляет строку в конец таблицы, нажатие «х» удаляет строку, слева от которой имеется указатель-стрелка). Все необходимые данные вводятся для каждого слоя в получившейся таблице. В поле **Коэффициент** можно задать коэффициент увеличения сейсмической записи.

После внесения всех необходимых изменений, нажимаем кнопку **ОК**, для отмены внесенных изменений нажимаем соответственно кнопку **Отмена**.

Если необходимо задать одну и ту же модель для нескольких сейсмических записей, то выделяем их с помощью клавиш **Shift** или **Ctrl** (рис. 1.4) и повторяем вышеописанные действия (при этом в заголовке окна редактирования параметров указаны имена редактируемых сейсмических записей (рис. 1.5)).

Если необходимо задать модель, которая уже была задана для другой сейсмической записи, то выбираем соответствующий пункт из списка **Параметры модели введены для**.

После того как модель для сейсмической записи задана, в столбце **Модель** появляется галочка (рис. 1.6).

Расчет спектров, частотной характеристики и пр. Расчет необходимых данных можно произвести 3 способами:

- Через меню **Процесс**→**Вычислить**;
- Соответствующей кнопкой на панели инструментов;
- Сочетанием клавиш **Ctrl+P**.

Появляется окно, в котором можно увидеть ход процесса расчета (рис. 1.7). Если необходимо прекратить процесс расчета, то нажимаем кнопку **Стоп**. Процесс расчета ведется для всех сейсмических записей, для которых имеются заполненные параметры модели (соответственно для этих сейсмических записей поставлена галочка в столбце **Модель**).

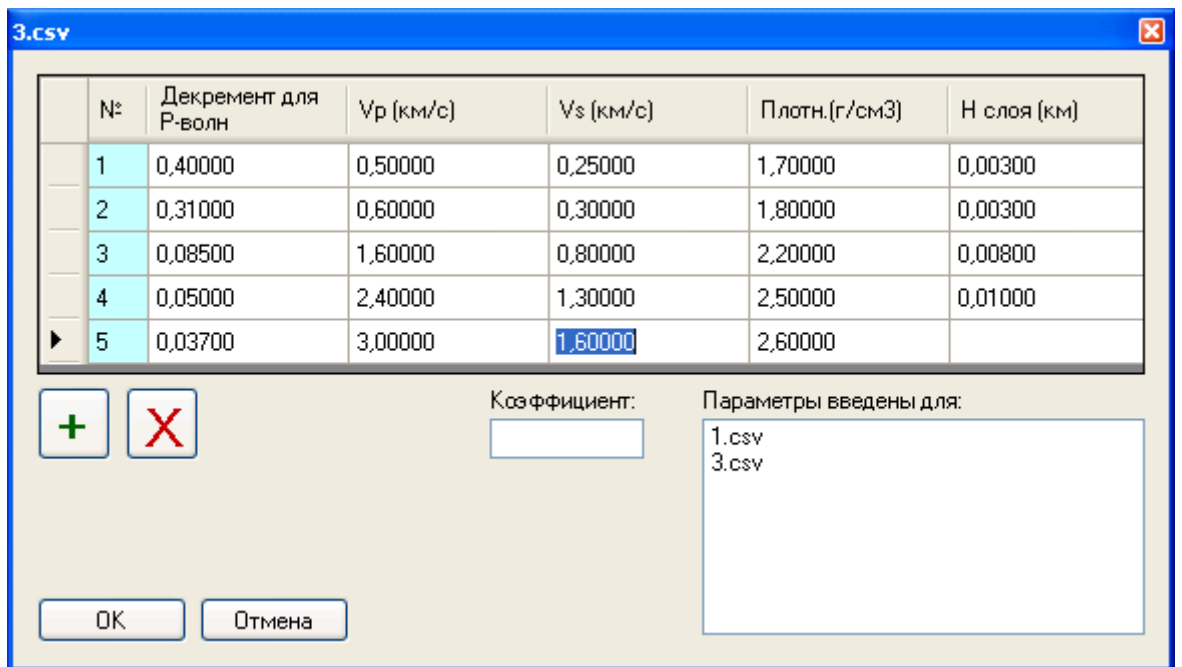


Рис. 1.3. Окно редактирования параметров модели.



Рис. 1.4. Главное окно программы, выделение нескольких сейсмических записей.

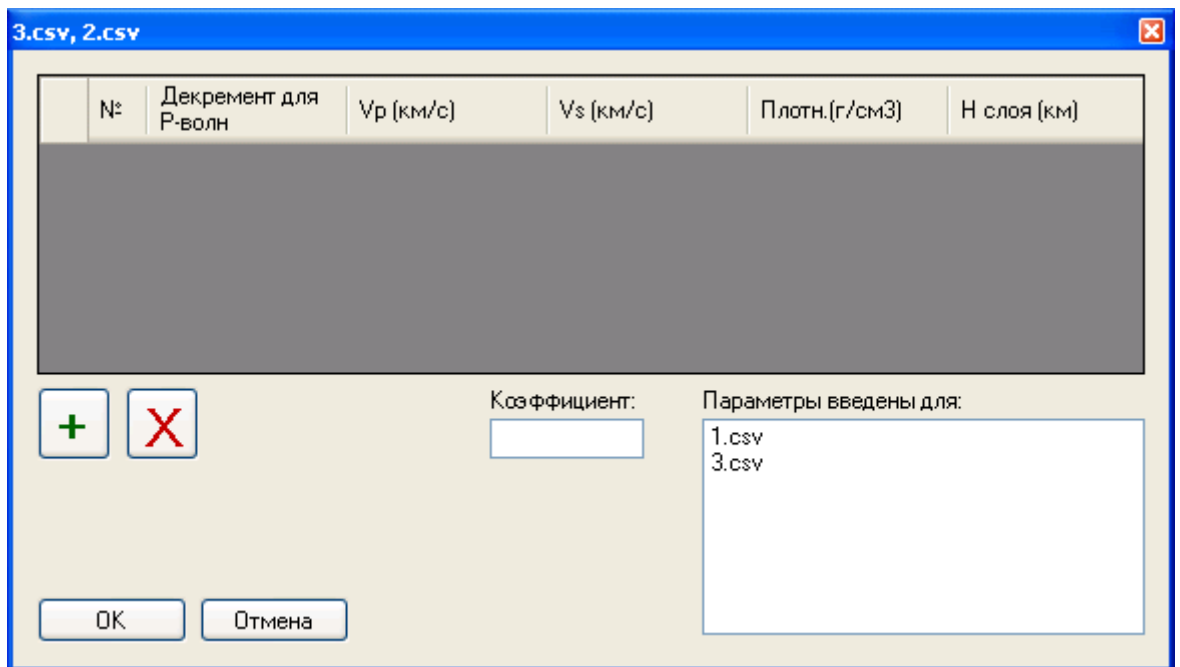


Рис. 1.5. Окно редактирования параметров для нескольких моделей.

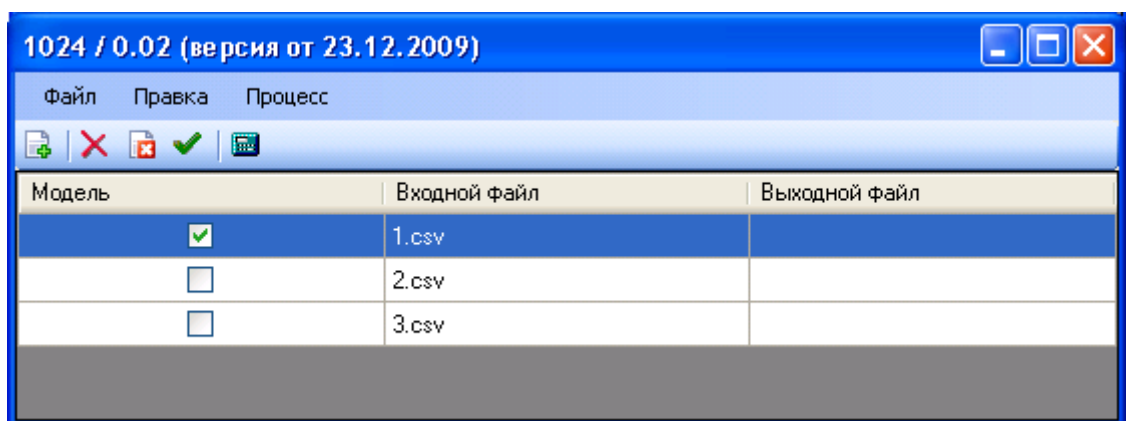


Рис. 1.6. Главное окно программы, расчёт произведён для модели 1.

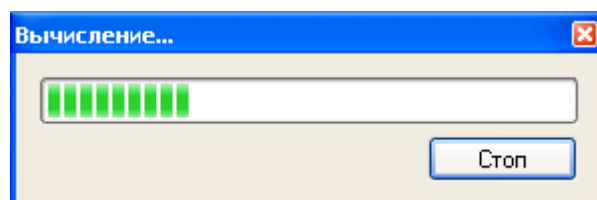


Рис. 1.7. Окно, отображающее прогресс процесса расчётов.

После того как процесс завершился, в столбце **Выходной файл** появятся Excel-файлы с рассчитанными данными и построенными графиками (рис. 1.6).

Открыть эти Excel-файлы можно 2 способами:

- Двойным щелчком по названию файла в таблице;
- В директории *out* (находится в папке с exe-файлом программы).

Удаление файлов сейсмических записей. Файлы сейсмических записей можно удалить как выборочно, так и все сразу.

Все без исключения сейсмические записи можно удалить 3 способами:

- Через меню *Правка*→*Удалить все*;
- Соответствующей кнопкой на панели инструментов;
- Сочетанием клавиш *Shift+Del*.

Чтобы удалить лишь некоторые сейсмические записи, выбираем их с помощью клавиш *Shift* или *Ctrl* (рис. 1.6) и дальше 3 способа:

- Через меню *Правка*→*Удалить*;
- Соответствующей кнопкой на панели инструментов;
- Клавишей *Del*.

Примечание. Удаляются не только файлы сейсмических записей, но и файлы с параметрами модели и выходные файлы с рассчитанными данными. После удаления их можно отыскать в корзине.

1.3. Комплекс вспомогательных программ

Конвертор файлов формата инженерной сейсмической станции «Диоген» в формат программы XXxx. Обработка записей микросейсмических колебаний в данной работе производилась посредством программы XXxx. В то время как сама запись осуществлялась с помощью инженерной сейсмической станции «Диоген», файлы данных которых несовместимы с программой XXxx. Поэтому возникла задача разработать конвертор, который бы преобразовывал формат файлов сейсмостанции «Диоген» в формат файлов, используемых программой XXxx.

Такой конвертор был успешно разработан в виде консольного приложения. Использовался язык программирования C# и библиотека классов .NET Framework [Нейгел, C# 2005..., 2008].

Принцип работы программы предельно прост. В директории с исполняемым файлом находятся папка «in», в которую пользователь помещает файлы формата сейсмической

станции «Диоген». При запуске исполняемого файла программа поочередно обрабатывает эти файлы, а переформатированные файлы, пригодные для использования в программе ХХхх, помещает в папку «out», которая также находится в директории с исполняемым файлом.

Процесс конвертации показан на рисунке 1.8.

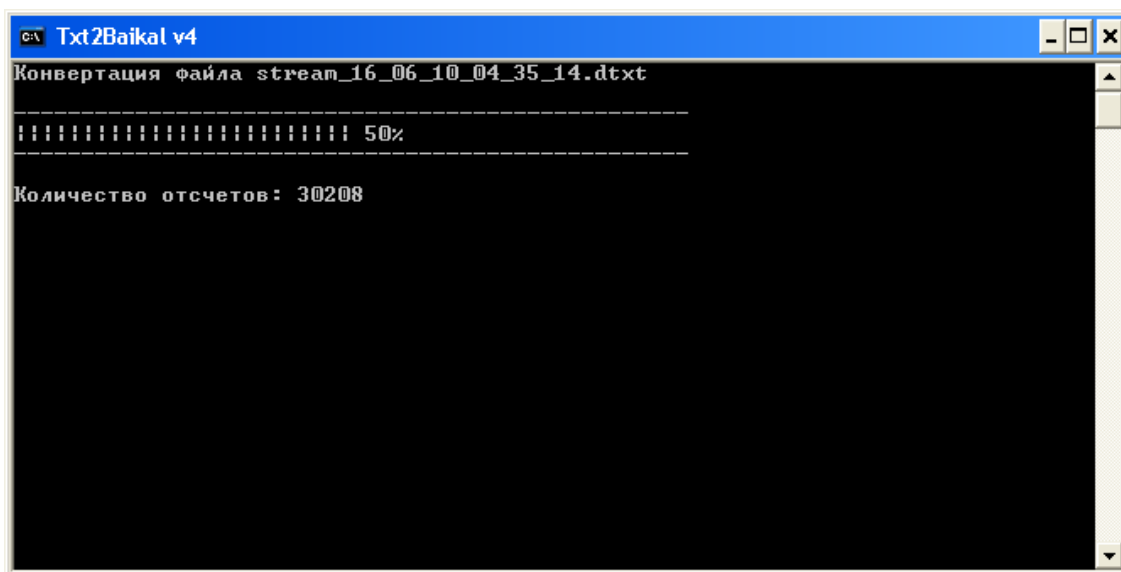


Рис 1.8. Процесс конвертации в консольном режиме

Конвертор файлов формата программы ХХхх в формат SAF. Записи землетрясений, использованные в данной работе, предоставлены Байкальским филиалом ГС СО РАН в формате сейсмической станции «Байкал». Ввиду возникшей потребности произвести часть процедур обработки этих записей в программе «Geopsy», был разработан конвертор, преобразующий файлы из формата сейсмических станций в формат SAF.

Рассмотрим кратко интерфейс данной программы. При запуске исполняемого файла появляется консоль с текстом инструкции для пользователя. Пользователю необходимо предварительно определить количество служебной информации в файле и ввести соответствующие данные в программу (рис. 1.9). Далее в появившемся окне выбираем файл, конвертацию которого хотим произвести (рис. 1.10). После завершения процесса появляется информация о конвертации. Далее можно либо закончить работу программы, либо продолжить конвертацию других файлов (рис. 1.11).

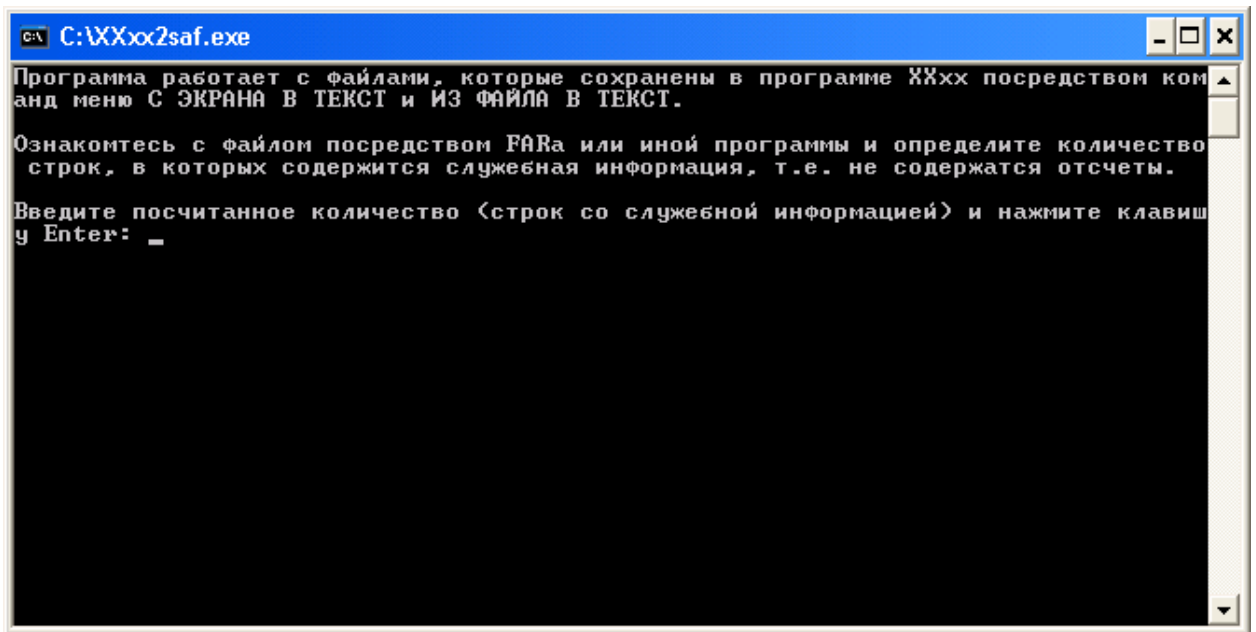


Рис. 1.9. Ввод предварительных данных о служебной информации в файле.

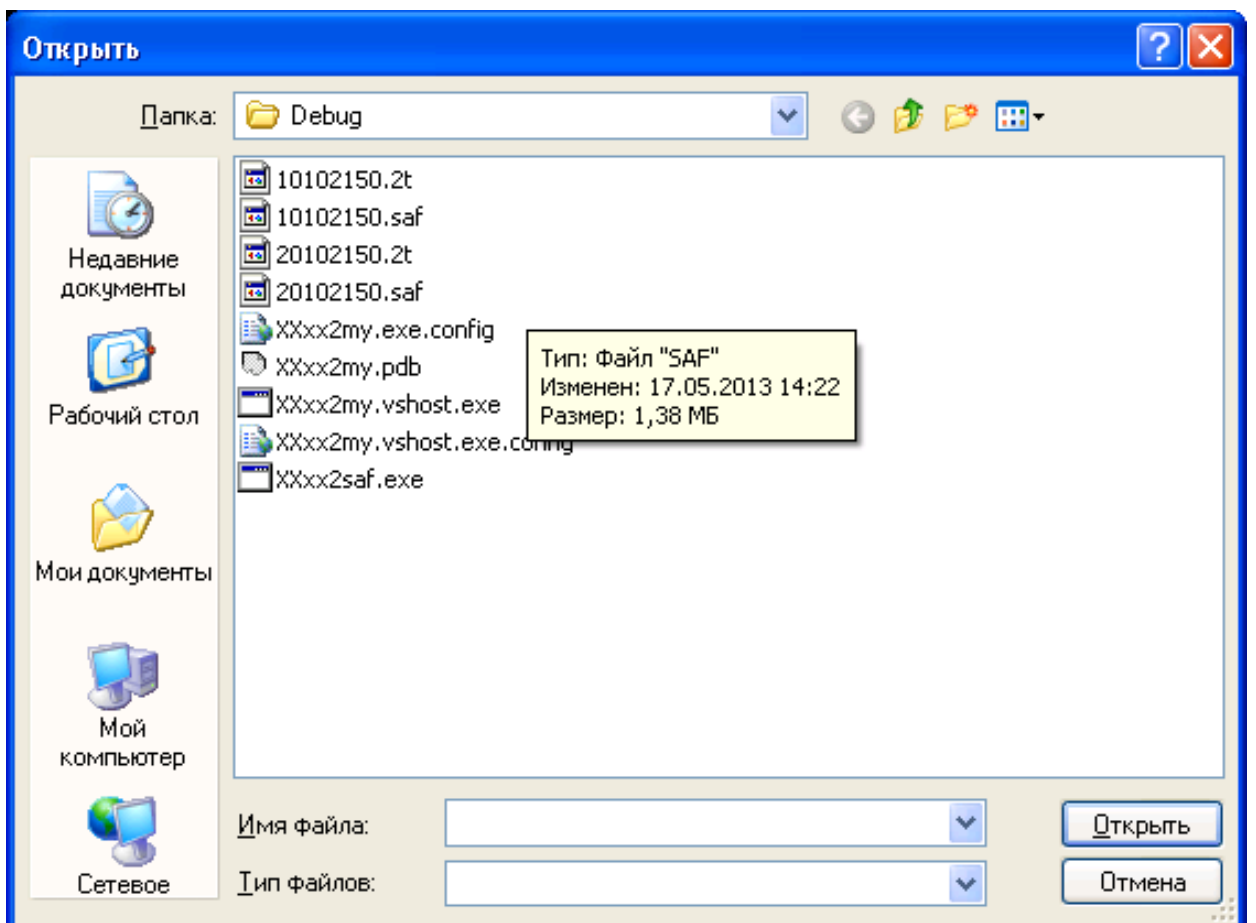


Рис. 1.10. Окно выбора файла для конвертации.

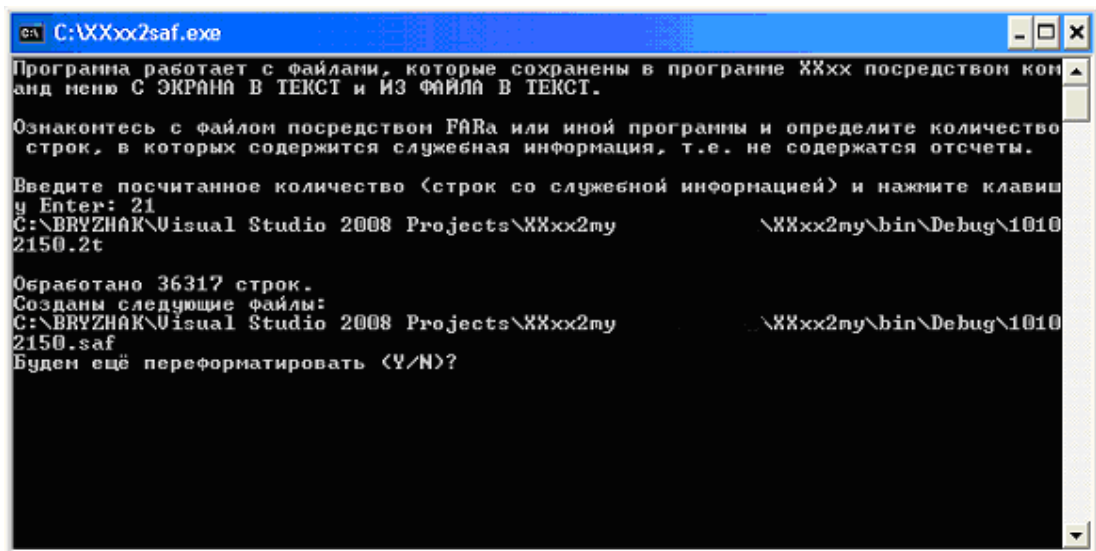


Рис 1.11. Окно с информацией о завершении процесса конвертации.

Программа экспресс-обработки полевых сейсмограмм. В практике отечественной сейсморазведки сложилась такая ситуация, что предлагаемое на рынке программное обеспечение для обработки данных по методам преломленных и отражённых волн является довольно громоздким и не позволяет в короткие сроки производить обработку больших объемов данных, которые возникают, например, при районировании трасс линейных сооружений.

Поэтому было принято решение разработать программу, которая бы позволяла проводить экспресс-обработку сейсмограмм по методу преломленных волн. При этом была предпринята попытка автоматического выделения слоёв с различными скоростями. Необходимо отметить, что программа извлекает данные из файлов формата SEG-Y, усовершенствованный стандарт которого выпущен в мае 2002 года [SEG Y, 2002].

Файловая структура этого формата понятна из рисунка 1.12. При запуске программы необходимо выбрать директорию, в которой находятся файлы с сейсмограммами (рис. 1.13). Далее появляется окно, в котором и происходит обработка данных (рис. 1.14).

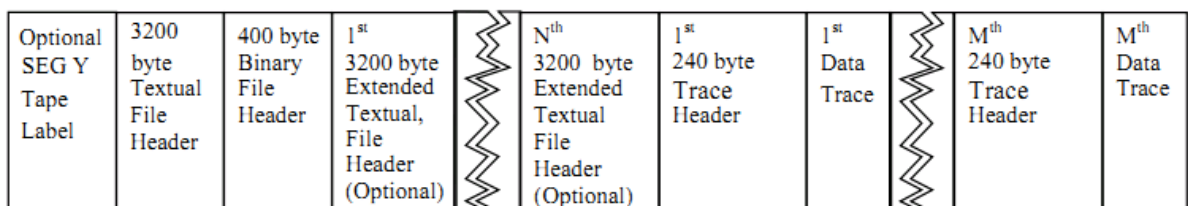


Figure 1 Byte stream structure of a SEG Y file with N Extended Textual File Header records and M traces records

Рис 1.12. Структура файла SEG-Y.

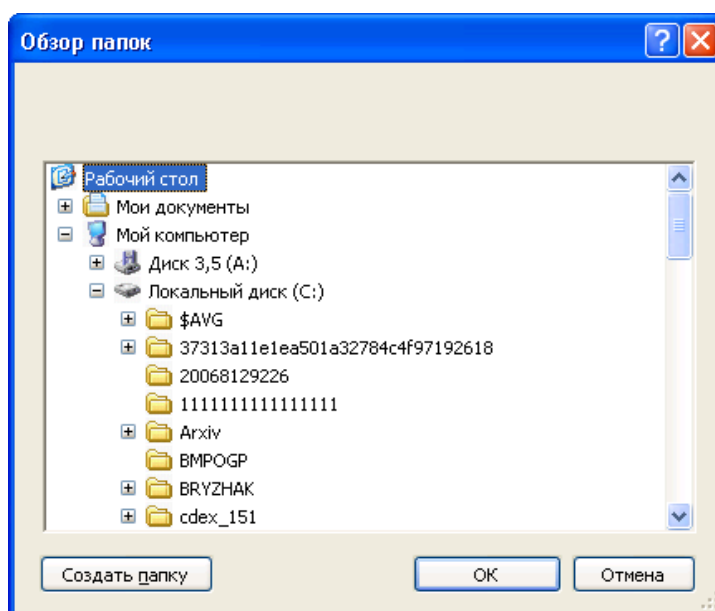


Рис 1.13. Выбор директории файлов сейсмограмм.

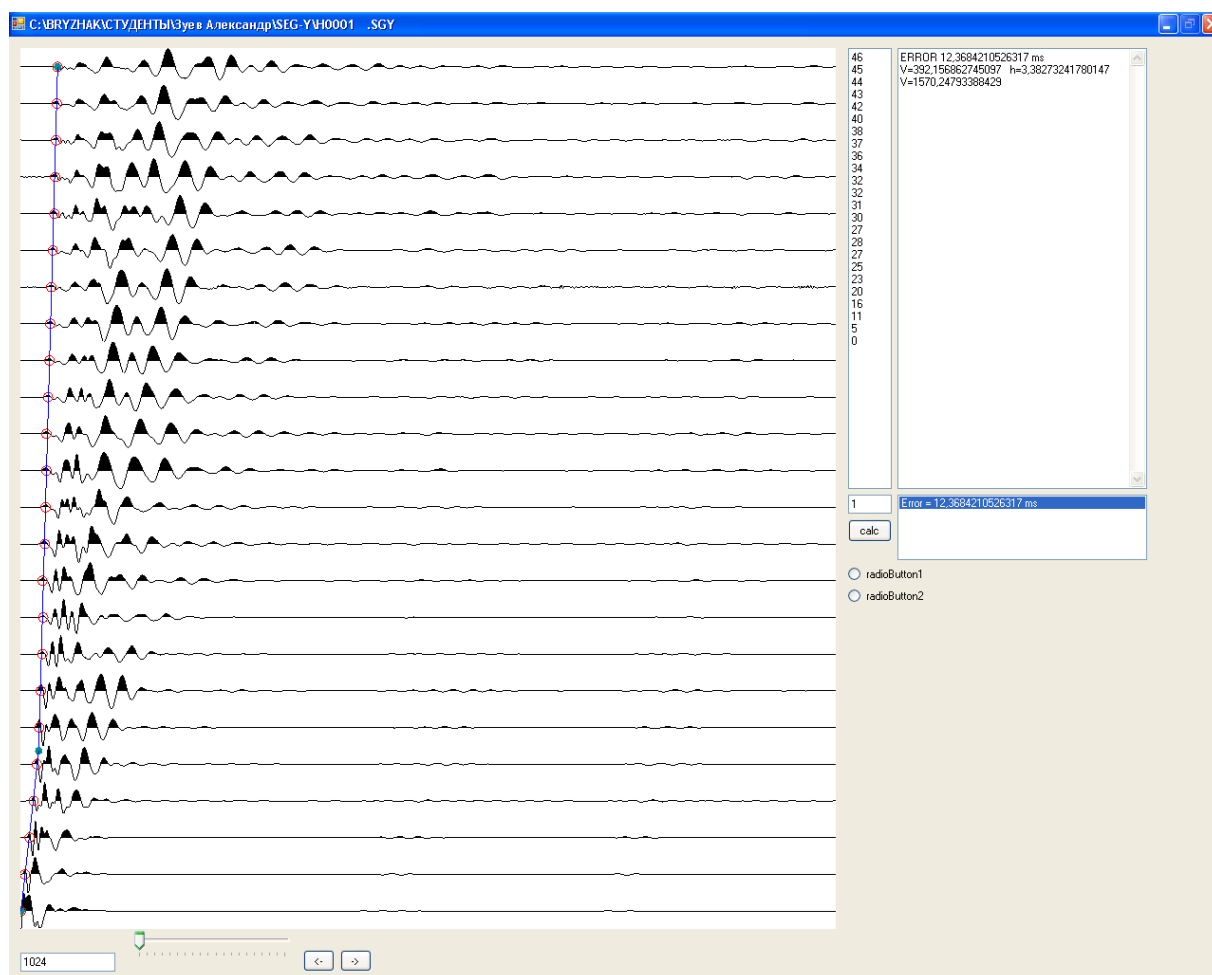


Рис 1.14. Главное окно программы.

Большую часть окна занимает сейсмограмма. Можно менять количество отображаемых отсчётов с помощью текстового окна под сейсмограммой. С помощью ползунка под сейсмограммой можно менять усиление. А с помощью клавиш со стрелками выбирать файл для обработки. Далее красными кружками на сейсмограмме отмечаются первые вступления. В текстовом поле справа от сейсмограммы вводится предполагаемое количество границ преломления. Строится годограф по методу t_0 и рассчитывается отклонение теоретического годографа от экспериментального в миллисекундах. А также рассчитываются параметры скоростной модели.

Программа создания KML-файлов. Для того, чтобы визуализировать параметры очагов землетрясений, такие как географические координаты, глубина гипоцентра, а также магнитуда и энергетический класс, необходимо создать KML-файл, который впоследствии можно открыть например в программе Google Earth или других.

С этой целью было разработано соответствующее программное обеспечение.

Оно имеет консольный интерфейс.

Ввод данных осуществляется с помощью текстовых файлов, в которых для каждого эпицентра в каждой строке через запятую перечисляются необходимые параметры. После запуска исполняемого файла и обработки входного программа записывает выходной файл в формате KML. Пример KML-разметки представлен ниже.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1">
<Placemark>
  <name>Example</name>
  <LookAt id="khLookAt540_copy0">
    <longitude>38.0576198113139</longitude>
    <latitude>44.56963150481845</latitude>
    <altitude>0</altitude>
    <range>14693.40972993507</range>
    <tilt>49.10268313434742</tilt>
    <heading>37.85562764777833</heading>
  </LookAt>
  <Style>
    <IconStyle>
      <scale>0.9</scale>
      <Icon>
        <href>root://icons/palette-
4.png</href>
        <x>32</x>
        <y>128</y>
        <w>32</w>
        <h>32</h>
      </Icon>
    </IconStyle>
```

```
        <LabelStyle>
            <scale>0.9</scale>
        </LabelStyle>
    </Style>
    <Point id="khPoint541_copy0">
<coordinates>38.06284424434902,44.56842733252498,0</coordinates>
    </Point>
</Placemark>
</kml>
```

После открытия KML-файла например в программе Google Earth можно получить карту-схему эпицентров и сейсмических станций. Программный код приведен в приложении.

Программа сохранения акселерограмм в формат Excel. Доступ к записям землетрясений со станций, входящих в мировую сеть, можно получить как с помощью Web-интерфейса, так и с помощью специальных программ. Центр данных IRIS предоставляет доступ, например, с помощью программы JWEED 3.2. Эта программа может сохранять записи в текстовом формате, однако он не пригоден для обработки в программе Excel и других. Поэтому было разработано программное обеспечение, позволяющее конвертировать файлы в нужный формат. При выборе необходимых записей программа JWEED 3.2 записывает данные каждого события в отдельную директорию (для каждой компоненты – отдельный файл).

Разработанная программа имеет консольный интерфейс и при запуске обрабатывает все директории и файлы в каждой директории и записывает их в файл формата csv – в каждом столбце отдельная компонента. Данный файл может быть обработан в любой программе, поддерживающей текстовый формат, в т.ч. Microsoft Excel. Программный код приведен в приложении.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СПЕКТРОВ АКСЕЛЕРОГРАММ С МАГНИТУДОЙ И РАССТОЯНИЕМ

В настоящей главе исследованы амплитудно-частотные характеристики верхней толщи разреза всех постоянных сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья. Эти данные необходимы для решения некоторых обратных задач сейсмологии, а также в связи с тем, что акселерограммы, зарегистрированные на этих станциях, используются при районировании участков Прибайкалья и Забайкалья. Частотные характеристики найдены двумя способами – расчетным и экспериментальным. Были проведены сейсморазведочные и электроразведочные работы, на основании результатов которых построены геофизические разрезы верхней толщи коры. По этим разрезам найдены расчетные амплитудно-частотные характеристики. Для экспериментального определения частотных характеристик использовался способ спектральных отношений N/V . Для сейсмических станций Прибайкалья частотные характеристики верхней толщи разреза определены впервые. Приведены основные параметры сильных движений грунта в Байкальской рифтовой зоне за последние десять лет. Получены эмпирические связи между основными динамическими характеристиками ускорений грунта от магнитуды и расстояния. Показана возможность прогноза записей акселерограмм для различных эпицентральных расстояний и магнитуд. В настоящей работе рассмотрены спектры Фурье ускорений землетрясений юго-запада Байкальской рифтовой зоны. Это обусловлено тем, что здесь в течение последних десяти лет произошли три сильных землетрясения с магнитудой $M \geq 6$ и несколько землетрясений с $M \geq 5$, с различными типами подвижек в очаге. Кроме того, найдены средние спектры, характеризующие амплитудно-частотный состав сильных землетрясений всего юго-запада Байкальской рифтовой зоны. Спектры ускорений Фурье, полученные по наблюдаемым землетрясениям, имеют как самостоятельный интерес, так и практическое приложение при инженерно-сейсмологических обоснованиях, в частности, при моделировании акселерограмм. Средние же спектры важны при описании амплитудно-частотного состава сильных движений грунта того или иного исследуемого региона.

2.1. Влияние верхней зоны разреза на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала на примере сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья

На частотный и амплитудный состав записей землетрясений существенное влияние оказывает строение самой верхней части разреза до монолитных скальных пород. Учет этого влияния при обработке записей землетрясений приводит к необходимости введения различных поправок.

Для определения частотных характеристик грунтов под сейсмическими станциями Прибайкалья были использованы два способа – расчетный, основанный на построении скоростных сейсмических моделей верхней зоны разреза [Ратникова, 1979], и способ спектральных отношений H/V , опирающийся на использование записей землетрясения на одной сейсмической станции [Nakamura, 2008]. Частотные характеристики, полученные этими способами, не зависят ни от эпицентрального расстояния, ни от силы землетрясения [Yamazaki, Ansary, 1977]. Дополнительно для сейсмической станции “Иркутск” применили прямой способ получения частотных характеристик верхней зоны разреза. Для этого были использованы спектры ускорений землетрясений, зарегистрированные одновременно на изучаемом и полускальном грунтах.

Использованы записи землетрясений, зарегистрированных сетью сейсмических станций Байкальского филиала ГС СО РАН. Станции оборудованы цифровой аппаратурой Байкал-10 и Байкал-11, столбобразная часть собственной частотной характеристики которой лежит в пределах 0.5–10 и 0.5–20 Гц соответственно [Мельникова и др., 2008].

При реализации расчетного способа для большинства сейсмических станций Прибайкалья были получены скоростные сейсмические разрезы. Верхнюю часть разреза от дневной поверхности до плотных коренных пород необходимо представить физико-геологической моделью, которая должна описываться некоторым набором параметров, необходимых при решении прямых и обратных задач динамической теории упругости. Сложность реальных сред заставляет прибегать к значительным упрощениям. Обычно эти упрощения сводятся к замене реальной среды упрощенной моделью, характеризуемой небольшим числом параметров, т.е. точные решения заменяются приближенными.

Основными определяемыми параметрами были скорости сейсмических волн – продольных (V_p) и поперечных (V_s), плотности пород (ρ), а также границы раздела. Определение скоростей производилось сейсморазведочными методами, измерения выполнялись методом преломленных волн [Гуревич, 1970; Юшкин, 2004]. Скорости

измерялись на сравнительно небольших базах 50, 60 и 150 м. В каждой точке зондирования регистрировались колебания от трех пунктов возбуждения, что позволяло иметь систему встречных и нагоняющих годографов. Иногда для увеличения глубины исследований пункты возбуждений размещались на расстоянии от крайних сейсмоприемников, равном или кратном длине стоянки. Расстояние между сейсмоприемниками составляло 1,3 и 5 м.

Для регистрации и выделения продольных и поперечных волн применялись схемы наблюдений Z-Z и Y-Y, соответствующие вертикальному удару с вертикально-ориентированными сейсмоприемниками и горизонтальному удару перпендикулярно направлению профиля с ориентированными в этом же направлении приборами.

Для расчета скоростей сейсмических волн использовались прямые и преломленные волны. По этим волнам, выделенным на сейсмограммах, строились годографы первых вступлений. Скорости прямых и преломленных волн вычислялись способом разностного годографа [Берзон, 1977]. При отсутствии встречных годографов прямых волн их скорость определялась по наклону имеющегося годографа. По найденным значениям скоростей строились скоростные разрезы по способу t_0 [Гуревич, 1970].

Дополнительно для сейсмических станций были проведены электроразведочные работы методом ВЭЗ. Полученные в результате данные использовались для уточнения уровня залегания грунтовых вод, степени трещиноватости, границ раздела и т.п. На основании совокупности полученных данных для каждой сейсмической станции Прибайкалья были построены скоростные модели (см. таблицу 2.1).

Для расчета частотных характеристик необходим выбор угла подхода сейсмической радиации к пункту наблюдения и распределения затухания по разрезу. Угол подхода брался равным 30° к вертикали. Для оценки затухания в тех или иных породах анализировались литературные сведения и использовались существующие связи между декрементами поглощения и скоростями распространения сейсмических волн в этих породах. В зоне малых скоростей декременты поглощения продольных волн составляют 0.1–0.7, а иногда и выше. В консолидированных породах, скорости распространения продольных волн в которых больше 1000 м/с, затухание резко уменьшается, и декременты не превышают 0.1.

Для получения частотных характеристик методом спектральных отношений для каждой сейсмической станции были использованы записи ускорений движения грунта при землетрясениях, зарегистрированных на данной сейсмической станции. Используются землетрясения с магнитудой $5,0 < M < 6,4$, происшедшие в различных районах Байкальской рифтовой зоны. Эпицентральные расстояния (Δ) их в большинстве

своем колебались в пределах от 40 до 250 км, иногда для увеличения статистики привлекались землетрясения с $\Delta \leq 500$ км. Расчет частотных характеристик сводился к вычислению отношений спектров поперечных колебаний акселерограммы горизонтальной компоненты к вертикальной. В нашем случае в качестве спектра акселерограммы горизонтальной компоненты брался средний спектр ускорений, зарегистрированных компонентами N-S и E-W. Это связано с тем, что в отдельных случаях запись на одной из горизонтальных компонент значительно превосходила по уровню запись другой горизонтальной составляющей. Для получения частотных характеристик грунтов под каждой сейсмической станцией, в зависимости от сложности строения разреза, использовалось от 10 до 30 землетрясений.

Таблица 2.1

Краткая инженерно-геологическая характеристика и распределение сейсмических свойств грунтов с глубиной на участках расположения региональных сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья

Сейсмостанция	Инженерно-геологические условия	h, м	c, г/см ³	V _p , м/с	V _s , м/с
Аршан	Глыбы, щебень, дресва	2.5	1.7	500	220
	Сильно трещиноватые амфиболо-биотитовые гнейсы, плагиогнейсы и кристаллические сланцы	60	2.1	1880	900
	Амфиболо-биотитовые гнейсы, плагиогнейсы и кристаллические сланцы		2.6	4000	
Закаменск	Сильно трещиноватые плагиограниты и гранодиориты	11	2.0	1250	600
	Плагиограниты и гранодиориты		2.6	3580	1800
Иркутск	Суглинки	9	1.7	580	230
	Суглинки	16	1.8	1700	600
	Разнозернистые песчаники, сапролиты, алевролиты, аргиллиты		2.4	3000	1560
Кабанск	Разнозернистые пылеватые пески	5	1.73	420	200
	Разнозернистые пылеватые пески с включениями гравия, обводненные с глубины 5 м	55	1.8	1580	380
	Супеси	100	2.1	3100	1300
	Гравийно-галечные отложения с песчаным заполнителем		2.7	4000	2180
Кумора	Песчано-супесчаные отложения	6	2.2	1200	620
	Валуны, песок, глина, мерзлые	24	2.5	3300	1600
	Гнейсы с прослоями известняков, сланцы		2.7	4000	2000

Монды	Валунно-гравийно-галечные отложения с глубины 5 м мерзлые	5	1.9	800	400
			2.3	4170	2410
Неляты	Валунно-галечные отложения	4	2.1	1050	640
	Валунно-галечные отложения	34	2.4	2600	1360
	Песчаники, алевролиты, крист. сланцы		2.6	4000	2300
Нижнеангарск	Глыбы, дресва, щебень	5.5	1.6	440	210
	Среднезернистые гнейсовидные биотитовые гранитоиды		2.5	3850	1950
Орлик	Мерзлые валунно-галечно-песчаные отложения	7	2.5	2800	1460
	Известняки и доломитовые известняки		2.6	3800	2000
Северомуйск	Глыбы гранитов	16	1.9	1200	610
	Трещиноватые гранитоиды	74	2.2	2100	1020
	Гранитоиды		2.6	4000	2180
Суво	Глыбы, щебень, дресва с песчаным заполнителем	4	1.95	520	210
	Выветрелые, трещиноватые биотит-роговообманковые граносиениты	21	2.6	2920	1600
	Плотные, крепкие, биотит-роговообманковые граносиениты		2.65	4000	2180
Тырган	Глыбы, дресва	10	1.8	900	440
	Сильно раздробленные биотит-рогово-обманковые гнейсы, сланцы, известняки	7	2	1390	630
	Трещиноватые биотит-роговообманковые гнейсы, сланцы, известняки, амфиболиты	62	2.3	1520	670
	Плотные роговообманковые гнейсы, сланцы, известняки, амфиболиты		2.6	4000	2180

Талая	Глыбы, щебень, дресва	5	1.7	520	230
	Мрамор, переслаивющийся с амфибол-пироксеновыми сланцами		2.6	2100	1140
Уоян	Песок, супесь	14	1.6	370	165
	Песок с валунами и галькой	90	1.8	1520	330
	Песок с валунами и галькой		2.6	4000	2180
Хапчеранга	Глинистые сланцы	2	1.6	330	140
	Алевролитовые сланцы, трещиноватые	12	2.2	1700	760
	Кварцитовидные песчаники с прослоями мелкогалечных конгломератов		2.7	4100	2200
Чита	Пески с гравием и галькой	5	1.6	310	130
	Трещиноватые гранитосиециты	50	2	2120	900
	Гранитосиециты, граниты		2.7	3200	1800

Для уменьшения ошибки спектры поперечных волн рассчитывались методом скользящего окна (методом Уэлча [Марпл, 1990]) с разрешением по частоте 0,39 Гц и стандартной ошибкой 0,2. Нижняя граничная частота определяется длиной скользящего окна (2,5 с) и соответствует 0,39 Гц. Верхняя частота определяется частотой Найквиста f_H . При шаге дискретизации $\Delta t=0.01$ с $f_H=1/2 \Delta t = 50$ Гц. Длина анализируемого участка записи составляла 20 с. При расчете частотных характеристик способом спектрального отношения разрешающая способность единичной частотной характеристики по частоте составляла 0,78 Гц, а стандартная ошибка 0,4.

Хотя для разных сейсмических станций столбчатые участки собственных частотных характеристик сейсмографов разные (0,5–10 и 0,5–20 Гц), но в силу идентичности их для горизонтальных и вертикальных компонент для каждой станции все частотные характеристики грунтов рассчитывались для диапазона частот от 0,39 до 20 Гц. Полученные геофизические модели позволяют найти приближенные расчетные частотные характеристики верхней пачки слоев, лежащих на скальном или полускальном основании, для большинства сейсмических станций. Расчет проведен с помощью программы МТС, разработанной Л.И. Ратниковой [1979]. Частотные характеристики разрезов под сейсмическими станциями, для которых проведены детальные геофизические исследования, показаны на рис. 2.1. Они показывают степень влияния самой верхней зоны разреза, в нашем случае не превышающей 100 м, по отношению к подстилающим плотным породам на амплитудный и частотный состав сейсмического сигнала.

Для решения задач сейсмического микрорайонирования (СМР) полученные частотные характеристики необходимо уменьшить по уровню соответственно коэффициенту отражения волны от дневной поверхности. Это связано с тем, что категории грунтов при СМР устанавливаются не на глубине, а на поверхности. Известно, что максимальный коэффициент отражения равен 2 [Саваренский, 1972] для близвертикального падения сейсмических волн к дневной поверхности. В связи с этим на рис. 2.1 тонкими линиями приведены частотные характеристики, учитывающие коэффициент отражения, равный 2. Однако это будет справедливо лишь в том случае, если на поверхности будут лежать плотные грунты, V_p , V_s и c которых будут равны соответствующим параметрам плотных грунтов подошвы.

Частотные характеристики, полученные методом спектрального отношения, найдены для всех сейсмических станций Прибайкалья. Полученные таким образом частотные характеристики при разных землетрясениях имели иногда значительный разброс как по форме, так и по уровню. Поэтому для каждой сейсмической станции были получены средние частотные характеристики (рис. 2.2). Разброс частотных характеристик

по уровню оценивался среднеквадратичной ошибкой среднего, которая на рисунке показана тонкой линией.

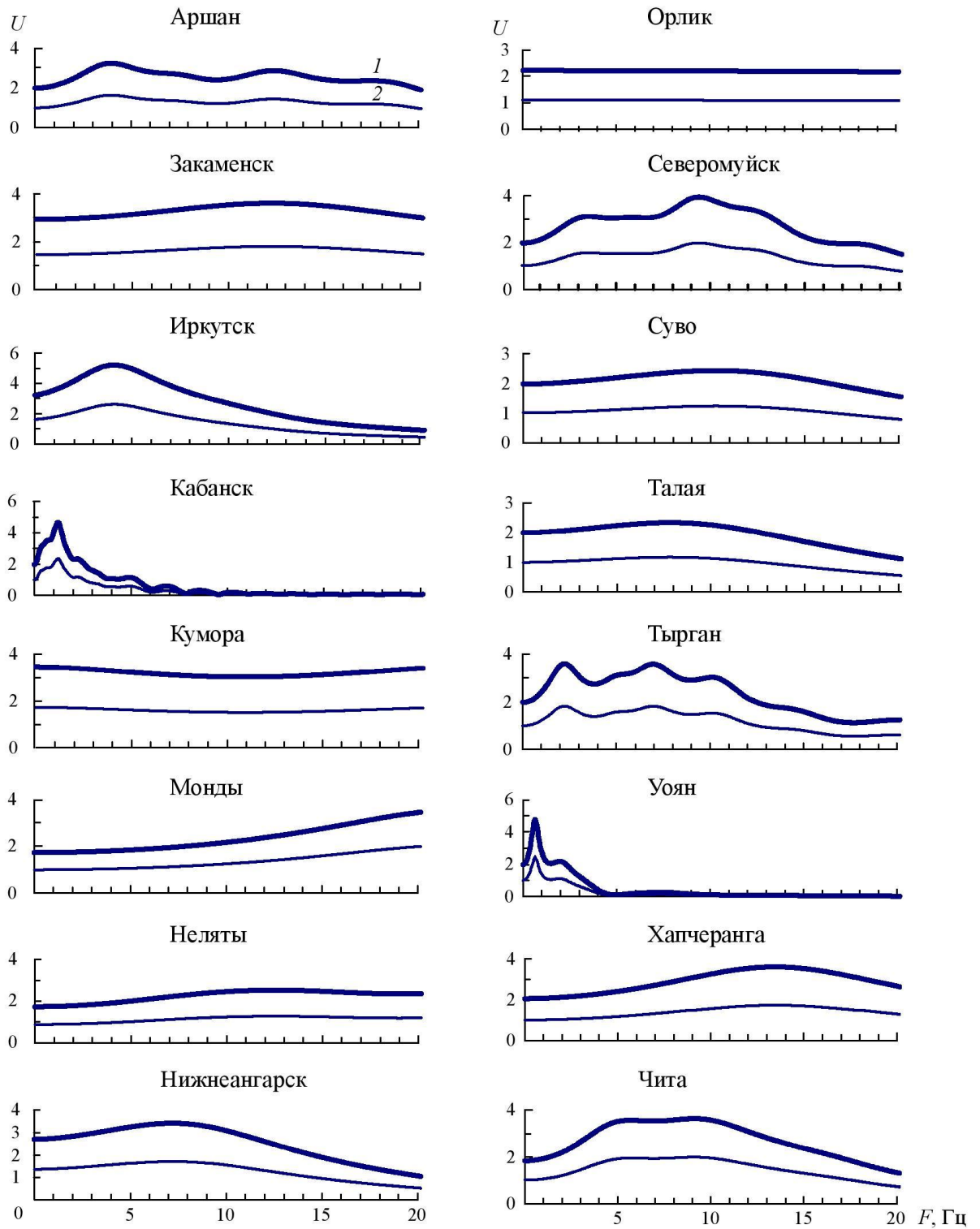


Рис. 2.1. Расчетные частотные характеристики верхней части разрезов под разными сейсмическими станциями. 1 – по отношению к подстилающим твердым породам; 2 – с учетом коэффициента отражения, который равен 2.

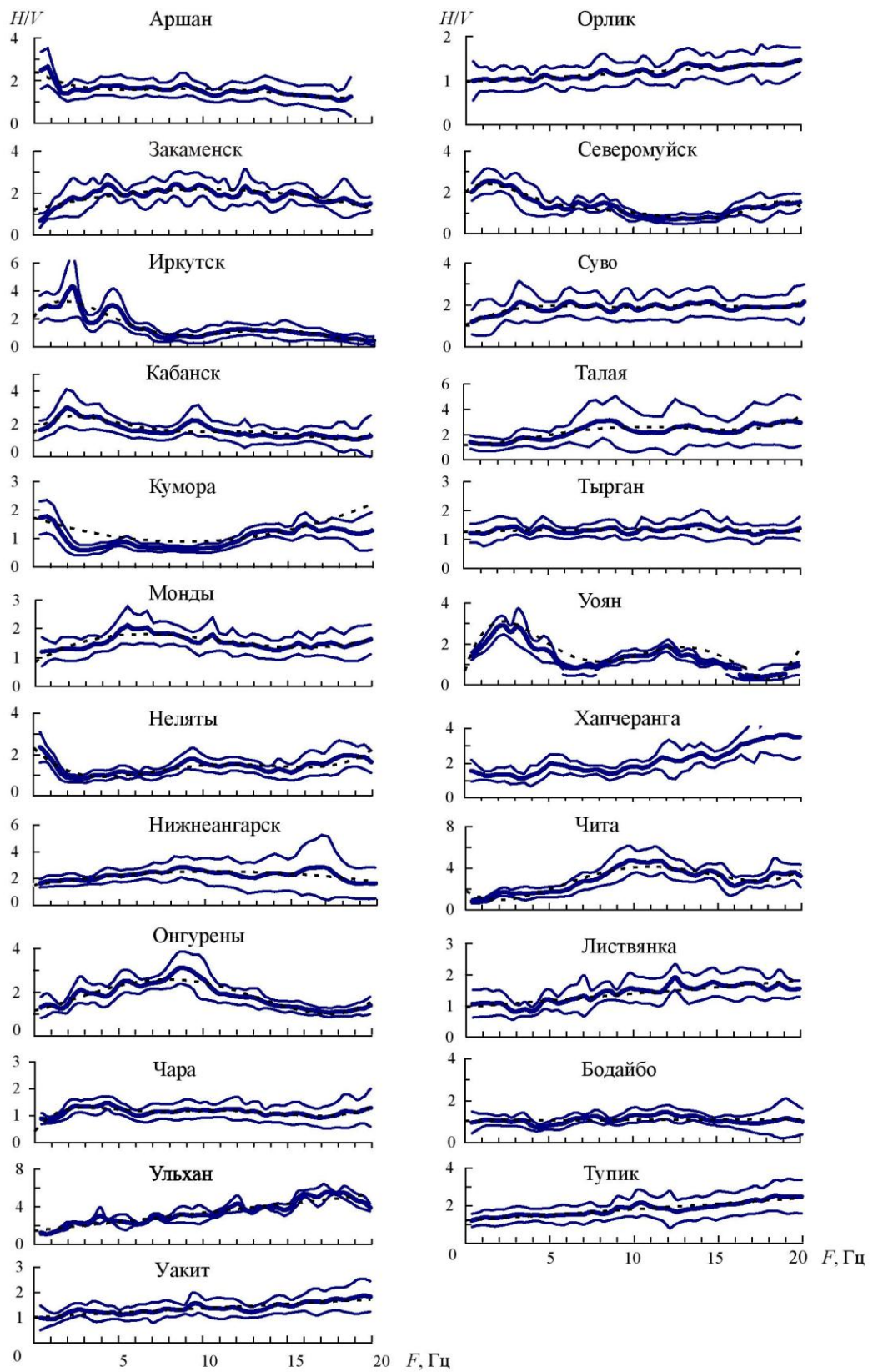


Рис. 2.2. Средние частотные характеристики верхних зон разрезов на разных станциях, полученные способом спектральных отношений H/V . Тонкими линиями обозначены границы ошибки среднего, пунктирными – линии тренда.

На рис. 2.2 видно, что частотные характеристики на разных станциях имеют разные уровни и формы. Наиболее выражены по уровню частотные характеристики тех сейсмостанций, приборы которых расположены на достаточно мощных рыхлых отложениях (станции “Иркутск”, “Кабанск”, “Северомуйск”, “Уоян” в таблице 2.1). Для сейсмостанций, где скальные или разрушенные скальные грунты подходят близко к дневной поверхности, уровень частотных характеристик практически постоянен во всем диапазоне частот, от 0,39 до 20 Гц. К последним относятся также частотные характеристики сейсмостанций, приборы которых расположены на вечномёрзлых грунтах, таких как “Чара”, “Тупик”, “Орлик”, “Уакит” (см. рис. 2.2).

Вместе с тем для некоторых сейсмостанций наблюдается несовпадение частотных характеристик, полученных расчетным методом и методом спектральных отношений. Наиболее наглядно оно проявляется для сейсмостанции “Иркутск”. С целью уточнения этого расхождения была определена частотная характеристика верхней части разреза прямым способом. Для этого находилось отношение спектров записей поперечных волн при землетрясениях, зарегистрированных одновременно на изучаемом грунте (сейсмостанция “Иркутск”) и на полускальном грунте (сейсмостанция “Эталон”), сложенном песчаниками с $V_p = 3000$ м/с, $V_s = 1200$ м/с, $\rho = 2.3$ г/см³ и $h=10$ м, лежащими на полупространстве, сложенном алевролитами с $V_p=4200$ м/с, $V_s=1700$ м/с, $\rho=2.42$ г/см³ и $h=\infty$. Расстояние между ними составляло 2,5 км.

На рис. 2.3 приведены спектры ускорений, зарегистрированные одновременно сейсмостанциями “Иркутск” и “Эталон”. Мощность изучаемых рыхлых отложений, сложенных суглинками, достигала $h=30$ м, т.е. являлась близкой к мощности рыхлых отложений сейсмостанции “Иркутск” (см. таблицу 2.1). Полученная таким образом частотная характеристика приведена на рис. 2.4.

Кроме того, для сейсмостанции “Эталон” была найдена частотная характеристика методом спектральных отношений, так же как для сейсмостанции “Иркутск”. С целью определения влияния непосредственно тридцатиметровой толщи суглинков частотная характеристика сейсмостанции “Иркутск” делилась на таковую, найденную для сейсмостанции “Эталон”. Таким образом, оценено влияние тридцатиметровой толщи суглинков на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала.

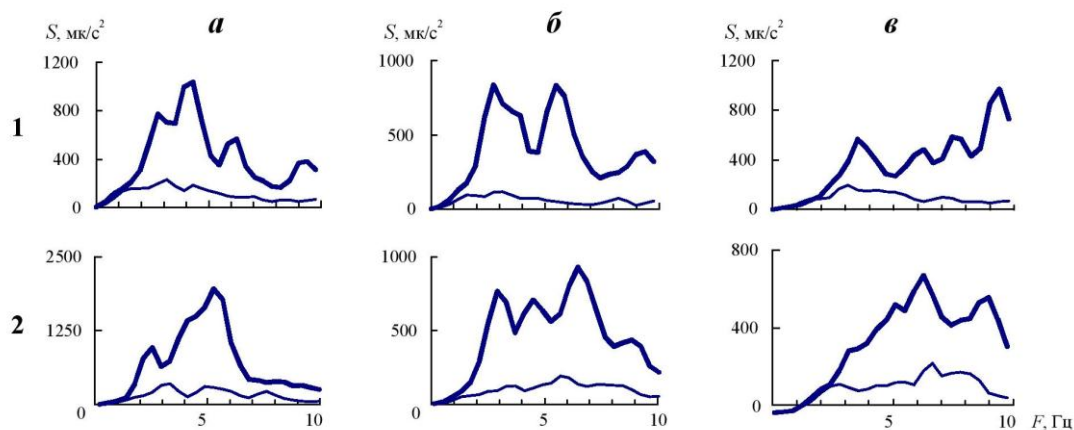


Рис. 2.3. Примеры амплитудных спектров записей двух землетрясений, зарегистрированных сейсмостанциями “Иркутск” и “Эталон” (тонкая линия). 1 – 3.04.2007 г., 14 ч 28 мин 26 с, $\Delta=104$ км, $K=11.5$; 2 – 11.11.2007 г., 22 ч 04 мин 32 с, $\Delta=107$ км, $K=11.5$. Компоненты: а – N-S, б – E-W, в – Z.

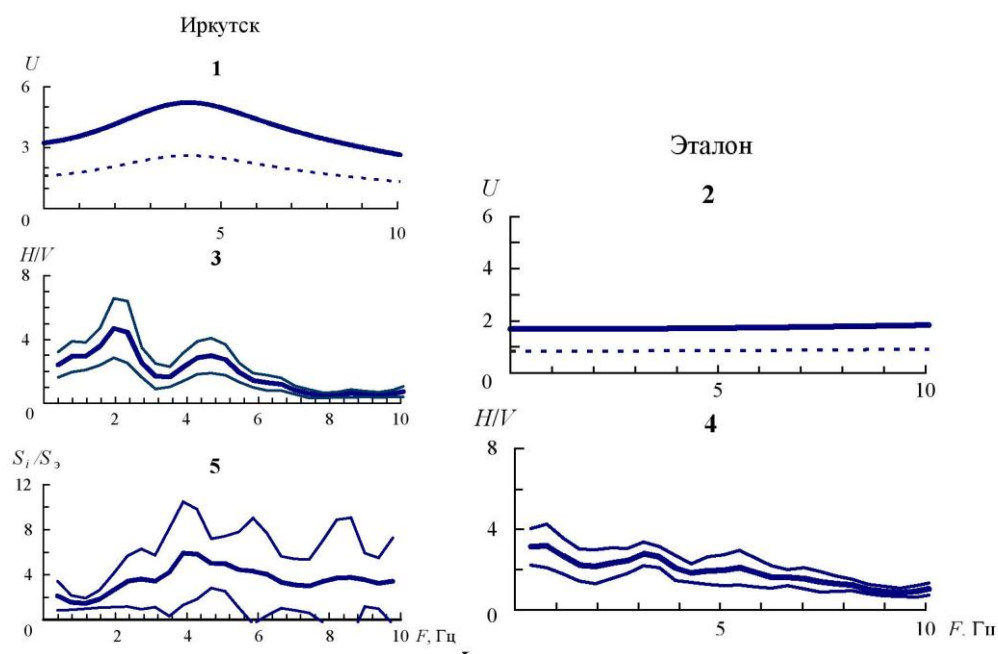


Рис. 2.4. Частотные характеристики, полученные различными способами, для сейсмостанций “Иркутск” и “Эталон”. 1, 2 – расчетные частотные характеристики (пунктирная линия – с учетом коэффициента отражения); 3, 4 – то же, полученные способом спектрального отношения; 5 – полученные прямым способом. Тонкие линии – границы среднеквадратичной ошибки среднего.

В то же время частотные характеристики сейсмических станций “Иркутск” и “Эталон” содержат максимумы на более низких частотах. Из этого следует вывод о том, что низкочастотные составляющие сейсмического сигнала претерпевают изменения в

более мощных слоях верхних отложений, значительно превышающих те, которые заложены для определения расчетных частотных характеристик. Этим же объясняется несоответствие расчетных и экспериментальных частотных характеристик в области низких частот, полученных на других сейсмических станциях.

В ходе построения частотных характеристик, для некоторых сейсмических станций была обнаружена явная зависимость их от сезонных факторов (оттаивание – промерзание). Поэтому была предпринята попытка выявить влияние сезонных факторов на частотные характеристики верхней зоны разреза. Для этого брались записи землетрясений, зарегистрированные на данной сейсмической станции в июле – сентябре (оттаивание) и декабре – марте (промерзание). Результаты приведены на рис. 2.5.

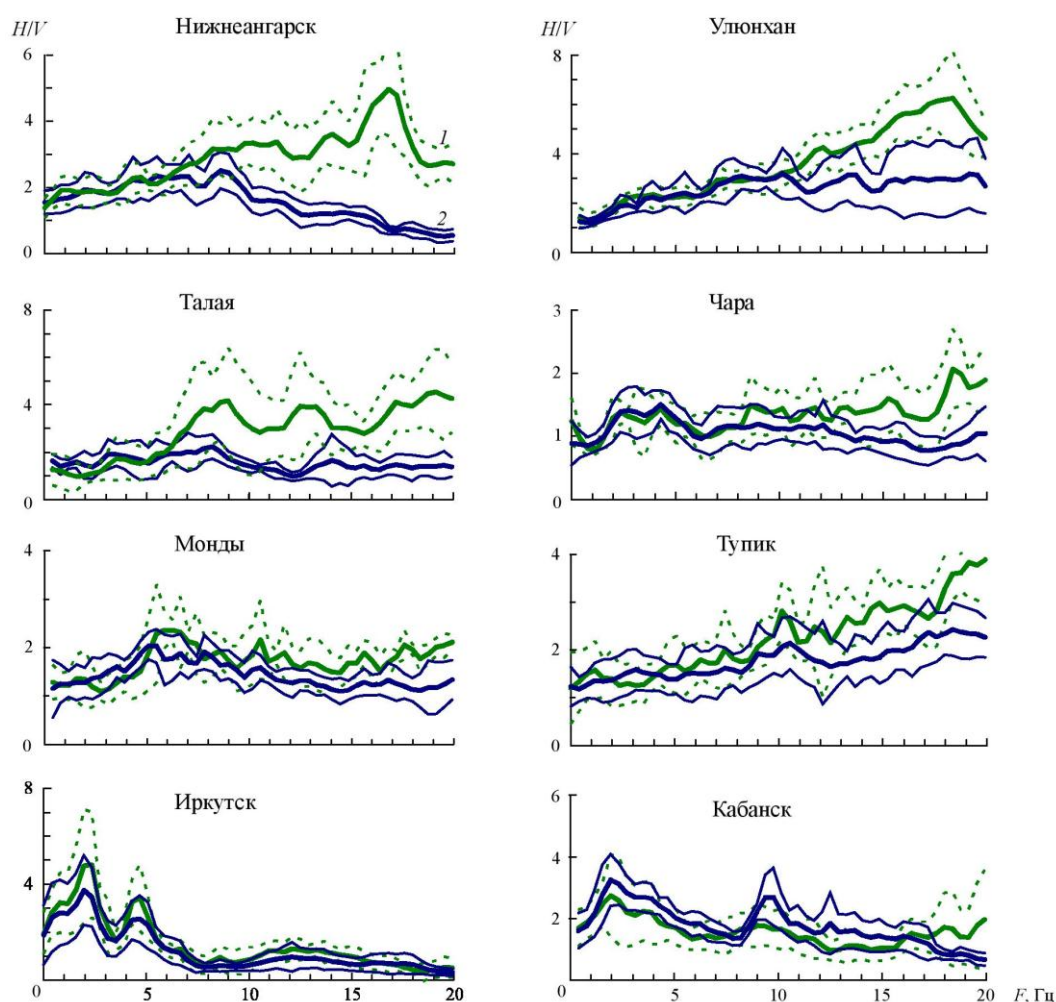


Рис. 2.5. Влияние сезонных факторов (промерзание – оттаивание) на частотные характеристики верхней части разреза. 1 – оттаивание, 2 – промерзание; тонкие и пунктирные линии – границы среднеквадратичной ошибки среднего

Видно, что на сейсмостанциях “Нижнеангарск”, “Улюнхан”, “Талая”, “Чара” влияние сезонных факторов можно считать существенным. В то же время на сейсмических станциях “Иркутск” и “Кабанск”, сейсмоприемники которых заглублены на 3 и 5 м под отопляемыми помещениями, влияние сезонных изменений на частотную характеристику приборов незначительно (находится в пределах ошибок определения). Можно сделать вывод, что влияние сезонных факторов на этих станциях отсутствует.

Промежуточное положение занимают сейсмостанции “Тупик” и “Монды” – для них влияние на частотную характеристику сезонных факторов незначительно, в пределах ошибок определения. Таким образом, переход от оттаивания к промерзанию может привести к уменьшению уровня амплитудно-частотной характеристики грунтов на частотах более 6–8 Гц.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что частотные характеристики, полученные расчетным и экспериментальным способами, дают достаточно хорошее совпадение по форме, по крайней мере, для грунтовых толщ мощностью до 100 м.

Для более мощных отложений в нашем случае предпочтительнее использовать частотные характеристики верхней толщи разреза, полученные экспериментальным путем. Вместе с тем в случае построения сейсмической модели верхней толщи для мощности более 100 м расчетный метод, возможно, также окажется вполне приемлемым для получения частотных характеристик верхней зоны разреза. Примером могут служить амплитудно-частотные характеристики сейсмостанций “Кабанск” и “Уоян”.

Таким образом, в настоящей работе впервые определены частотные характеристики верхней зоны разрезов под всеми сейсмическими станциями Прибайкалья. Частотные характеристики получены двумя способами – расчетным и способом спектральных отношений. Основные выводы можно свести к следующему.

1. Для расчетных методов, как показали исследования, оказалось достаточным построение скоростных разрезов в виде двух–четырёхслойных моделей при общей мощности изучаемых рыхлых отложений, не превышающей 100 м.
2. Дополнительные исследования, проведенные для сейсмической станции “Иркутск”, показали, что расчетные частотные характеристики отражают влияние на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала именно изучаемого слоя.
3. Частотные характеристики, полученные способом спектральных отношений, по сравнению с частотными характеристиками, полученными расчетным способом, отражают влияние на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала и более мощных отложений.

4. Сопоставление частотных характеристик верхней зоны разреза, не превышающей 100 м, полученных расчетным способом и способом спектральных отношений, показывает их достаточно хорошую сходимость.
5. В случае построения сейсмических моделей верхних толщ, мощность которых значительно превышает 100 м, расчетный способ, возможно, окажется вполне приемлемым для получения частотной характеристики верхней зоны. Для этого необходимо увеличить глубинность геофизических исследований.
6. Влияние сезонных факторов (оттаивание – промерзание) на частотную характеристику верхней зоны разреза под сейсмостанциями может сказываться на частотах выше 6 Гц.

2.2. Эмпирические связи между основными динамическими характеристиками ускорений грунта от магнитуды и расстояния

Одна из целей настоящей работы – рассмотрение сейсмических воздействий и их возможного прогнозирования для Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). В работе [Штейнберг и др., 1993] дан наиболее общий обзор мировых исследований, проводимых в этом направлении. Достаточно обширная критическая оценка связей основных динамических параметров землетрясений с магнитудой и эпицентральной расстоянием дается в работе [Чернов, 1989]. В дальнейшем эти работы были значительно расширены. Все большее внимание уделяется спектральным характеристикам, получению средних спектров Фурье для ускорений сильного движения грунта [Петухин и др., 2004; Гусев и др., 2006], характеризующих ту или иную сейсмически опасную зону. Поскольку для инженерных расчетов необходимо знать не только спектры ускорений при сильных землетрясениях, но и сами акселерограммы, все большее значение приобретает прогнозное направление получения таких акселерограмм [Аптикаев, Эртелева, 2002; Махдавиан и др., 2005].

В работе были использованы записи акселерограмм землетрясений, зарегистрированных в течение последних 10 лет сетью сейсмических станций Байкальского филиала ГС СО РАН. Рассматривались землетрясения с магнитудами $M=3.2-6.3$ и эпицентрными расстояниями $\Delta=25-407$ км. На рис. 2.6 показано относительное расположение сейсмических станций и очагов землетрясений с $M>5$. Параметры наиболее сильных землетрясений, использованных в данной работе, приведены в табл. 2.2 (составлена по материалам БФ ГС СО РАН). Все землетрясения были ощутимы в пределах БРЗ, а Култукское землетрясение 27.08.2008 г. с $M_w=6.3$, очаг которого находился на глубине 13 км, ощущалось далеко за ее пределами. Это дало

возможность сопоставить максимальные амплитуды ускорений при землетрясениях и интенсивность (I).

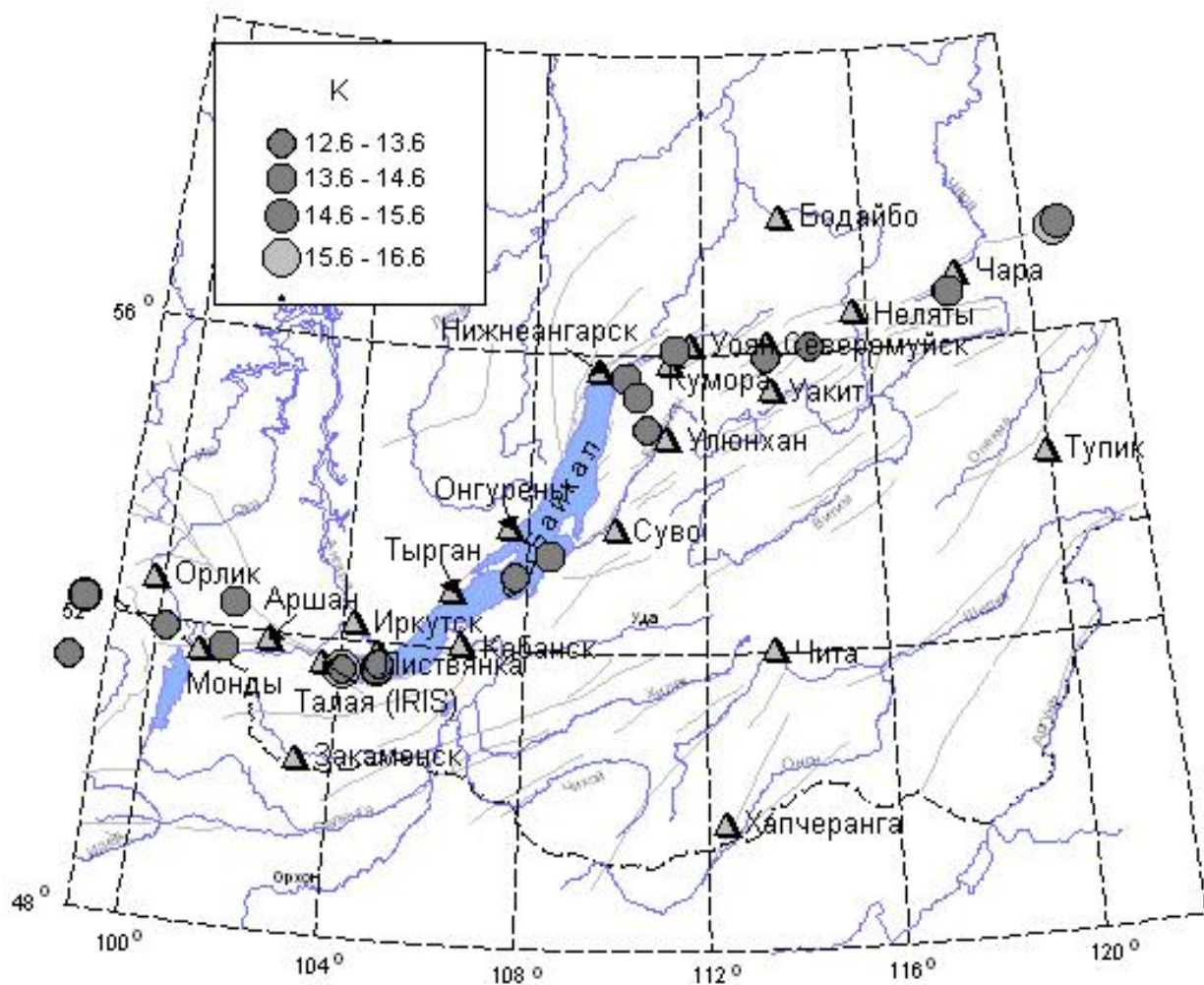


Рис. 2.6. Карта-схема расположения сейсмических станций и эпицентров землетрясений БРЗ за 1999–2008 гг. ($K_p \geq 13$)

Таблица 2.2

Основные параметры ощутимых землетрясений

№	Дата и время (в скобках)	Координаты эпицентров		K_p	M	Сейсмостанция, эпицентральное расстояние (Δ , км), интенсивность (I , баллы)
		φ	λ			
1	25.02.1999 г. (18:58:9.9)	51.64	104.82	14.6	5.9	Иркутск, 77 км, 5-6 баллов
2	25.02.1999 г. (19:11:7.0)	51.65	104.80	13.7	5.4	Иркутск, 75 км, 4-5 баллов
3	28.07.2002 г. (20:28:3.4)	52.99	107.71	13.1	5.1	Тырган, 96 км, 4-5 баллов; Суво, 170 км, 2 балла; Иркутск, 245 км, 3 балла
4	16.09.2003 г. (11:24:4.4)	56.05	111.34	14.3	5.7	Уоян; 25 км, 5-6 баллов; Кумора, 20 км, 5 баллов; Н.- Ангарск, 117 км, 4 балла; С.-Муйск, 139 км, 3-4 балла
5	17.09.2003 г. (02:59:6.0)	51.75	101.46	13.7	5.4	Монды, 38 км, 5 баллов; Аршан, 64 км, 4 балла; Орлик, 144км, 2 балла; Иркутск, 196, 3-4 балла
6	28.06.2004 г. (14:22:6.5)	56.68	117.97	13.5	5.3	Чара, 38 км, 5-6 баллов
7	02.01.2005 г. (00:24:8.7)	56.66	118.01	13.8	5.4	Чара, 31 км, 5 баллов; Неяты, 143 км
8	23.02.2005 г. (19:55:1.2)	52.35	101.59	13.6	5.3	Аршан, 86 км, 4-5 баллов; Монды, 74 км, 4 балла; Орлик, 123 км, 4-5 баллов; Иркутск, 285 км, 2-3 балла
9	04.12.2006 г. (09:14:04)	55.67	110.19	13.6	5.3	Н.-Ангарск, 46 км, 4 балла; Кумора, 66 км, 3-4 балла; Улюнхан, 114 км, 3 балла; Уоян, 120 км, 3-4 балла
10	04.07.2007 г. (01:23:3.6)	55.42	110.42	14.1	5.6	Кумора, 72 км; Н.-Ангарск, 68 км, 3-4 балла; Уоян, 114 км, 3 балла

11	23.08.2007 г. (04:49:9.5)	55.93	113.49	13.3	5.2	С.-Муйск, 28 км, 4-5 баллов; Уакит, 50 км, 3 балла; Улюнхан, 188 км, 3 балла
12	20.05.2008 г. (20:42:43)	53.28	108.49	14.2	5.7	Онгурены, 72 км, 4 балла; Суво, 109 км, 4-5 баллов; Тырган, 155 км, 4 балла; Иркутск, 307 км, 3 балла
13	16.08.2008 г. (04:01:08)	52.14	98.32	15.1	6.2	Орлик, 110 км, 6 баллов; Иркутск, 407 км, 3-4 балла
14	16.08.2008 г. (04:06:41)	52.12	98.31	13.8	5.4	Орлик, 112 км, 4 балла; Иркутск, 405 км, 2 балла
15	27.08.2008 г. (01:35:31)	51.62	104.06	>15.2	6.3	Иркутск, 72 км, 6-7 баллов; Аршан, 119 км, 6-7 баллов; Закаменск, 147 км, 5 баллов; Тырган, 202 км, 5-6 баллов, дана моментная магнитуда M_w (по данным NEIC)
16	27.08.2008 г. (01:41:32)	51.61	104.06	13	5.0	Иркутск, 72 км, 5 баллов; Аршан, 119 км; Закаменск, 147 км; Кабанск, 185 км; Тырган, 202 км, 3 балла; Онгурены, 329 км

Примечание. Магнитуда M получена пересчетом из энергетического класса K_p (по Т.Г. Раутиан) по формуле Гуттенберга–Рихтера–Раутиан: $M=(K_p - 4)/1.8$ [Ризниченко, 1985]; NEIC- Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США.

Байкальская рифтовая зона вытянута с юго-запада на северо-восток более чем на 700–800 км. Очаги землетрясений расположены в различных геологических условиях: в центральных районах большинство из них БРЗ формируется в условиях растяжения, на флангах рифтовой зоны – в условиях сдвига [Мельникова, Радзиминович, 2007].

Землетрясения юго-западной части БРЗ южного и среднего Байкала, а также северо-западного района БРЗ рассмотрены отдельно. При этом были задействованы сейсмостанции, расположенные в непосредственной близости к эпицентрам наиболее сильных землетрясений. Все зоны, за исключением южного Байкала, характеризуются приблизительно одинаковыми магнитудами, то же можно сказать и об эпицентральных расстояниях. Для БРЗ характерны коровые землетрясения со средней глубиной залегания очагов $h=10$ км [Голенецкий, 1997]. В работе использованы землетрясения с глубиной $8 \leq h \leq 20$ км. Всего обработано около 60 землетрясений.

Все сейсмические станции расположены на скальных грунтах или на незначительных по мощности (до 5-6 м) рыхлых отложениях. На полускальных (до глубины ≤ 100 м) и песчаных грунтах расположены приборы сейсмических станций Иркутск и Уоян соответственно.

Сейсмические станции оснащены цифровыми сейсмометрическими каналами в комплекте – Байкал-10 и Байкал-11, отличие которых заключается в ширине столообразной части частотных характеристик. Так, для комплекта Байкал-10 участок столообразной частотной характеристики на уровне 0.9 лежит в диапазоне 0.5–10 Гц, тогда как для комплекта Байкал-11 он занимает диапазон 0.5–20 Гц. Частота дискретизации на всех сейсмических каналах одинакова – 100 Гц. Регистрация землетрясений проводится в непрерывном режиме.

Использовался участок акселерограмм длительностью 20 с, начиная от вступления поперечных волн. Измерялись максимальные ускорения и соответствующие им частоты, а также длительность колебаний (τ) на уровне $0.5 a_m$, спектры рассчитывались для максимальной горизонтальной составляющей акселерограммы.

Основные динамические параметры использованных в работе акселерограмм приведены в табл. 2.3.

Для землетрясений БРЗ изменение максимальных ускорений (a_m) с эпицентральной расстоянием и магнитудой для грунтов II категории получено в следующем виде:

$$\lg a_m = 0.65M - 2.362 \lg \Delta + 1.75 \quad (R=0.65). \quad (1)$$

Таблица 2.3

Динамические характеристики акселерограмм, сгруппированные по магнитуде и эпицентральному расстояниям

M	Δ, км		Интервал значений		Среднее значение		τ, с	
	интервал	среднее	a_m , см/с ²	f_{am} , Гц	a_m , см/с ²	f_{am} , Гц	интервал	среднее
4.7–5.5	20–50	40	4.4–23.6	1.5–7.1	9	5.2	1.0–13	3.8
	51–100	77	2.8–11.1	2.8–7.4	7	4.7	0.5–10.6	5.1
	100–150	125	0.6–8.3	2.3–18.6	3.1	7.4	2.7–16.9	8.1
	>150	233	0.2–4.4	2.4–16.7	1.5	6.5	1.3–21.7	9.0
5.6–6	20–50	22	30–42.8	6.7–8.3	33.4	7.5	4.2–6.7	5.5
	51–100	71	0.6–5.8	3.3–11.1	2.9	7.6	6.2–18.4	12.7
	100–150	120	2.4–15.9	3.1–8.3	8.2	5.0	6.0–14.4	8.8
	>150	222	0.8–8.4	4.2–5	3.9	4.4	2.2–7.8	4.9
6.1–6.5	51–100	75	15.7–48	3.4–4.5	48	4.0	0.4–11.4	5.9
	100–150	125	3.7–61.8	5.0–6.2	25.7	5.6	6.3–10.3	9.2
	>150	265	1.4–23.6	2.1–5.6	10.7	3.3	7–14.8	11.6

Примечание. a_m – максимальное ускорение, f_{am} – соответствующая ему частота, τ – длительность импульса на уровне $0.5a_m$

Для грунтов III и I категорий вводится поправка к уравнению на величину ± 0.15 соответственно.

Связь a_m с интенсивностью имеет следующий вид:

$$\lg a_m = 0.331(I) - 0.51 \quad (R=0.8) \quad (2)$$

при среднеквадратичной ошибке $\sigma = \pm 0.28$.

Уравнение (2) отличается от полученной ранее зависимости [Шерман и др., 2003] и дает следующие значения a_m : для 7 баллов – 38–109 см/с², 8 баллов – 81–233 см/с². Эти значения вполне соответствуют шкале MSK-64 [Медведев и др., 1965]. Возможно, расхождение связано с тем, что количество данных, использованных в настоящей работе недостаточно. Об этом свидетельствует и невысокий коэффициент корреляции. Полученные закономерности выполняются, конечно, лишь в среднем, тем не менее их можно использовать как оценочные.

Четкой зависимости периода максимального ускорения с M и Δ не наблюдается. Не выражены зависимости и длительности колебаний от M и Δ . Так, для $M=4.7-5.5$

длительность колебаний τ возрастает с эпицентральной расстоянием от 3.8 до 9 с (40–233 км) и от 5.9 до 12 с (20–100 км), а с увеличением расстояния до 222 км τ уменьшается до 5 с.

Одна из форм задания сейсмических воздействий сводится к прогнозу спектра с использованием эмпирических частотно-зависимых функций $\beta_M(f)$ и затухания $n_{эф}(f)$ [Штейнберг и др., 1993]:

$$\begin{aligned}\beta_M(f) &= a \lg(f) + b \\ n_{эф}(f) &= c \lg(f) - d, \quad (3)\end{aligned}$$

где: $\beta_M(f)$ – приращение логарифма спектральной плотности с увеличением M на единицу, $n_{эф}(f)$ – эффективный коэффициент затухания спектральной составляющей с расстоянием, характеризующий суммарный эффект за счет расхождения волнового фронта, поглощения из-за неидеальной упругости среды и рассеяния энергии сейсмического сигнала неоднородностями последней.

Рассмотрим основные характеристики использованных спектров акселерограмм. Спектры рассчитывались методом Уэлча [Марпл, 1990] с разрешением по частоте 0.78 Гц и стандартной ошибкой $\varepsilon=0.20$. Нижняя граничная частота определяется длиной анализируемого участка акселерограммы (T) соотношением $f_{нч}=1/T=1/20=0.05$ Гц. Верхняя граничная частота определяется частотой Найквиста, связанной с шагом дискретизации Δt ($\Delta t = 0.01$ с) соотношением $F_{нч}=1/(2\Delta t)=50$ Гц. Однако реальные рабочие частоты приходится вынужденно ограничить полосами 0.5–10 и 0.5–20 Гц в соответствии с используемой регистрирующей аппаратурой. Поэтому в дальнейших расчетах наиболее достоверно характеризуются спектры в диапазоне 0.5 – 10 Гц.

Для сейсмостанций, регистрирующие приборы которых располагались на рыхлых отложениях, находились амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) верхней толщи зоны разреза методом МТС по программе Л.И. Ратниковой [1983]. Примеры типичных характеристик приведены на рис. 2.7. Для этой цели были предварительно изучены скоростные разрезы под сейсмостанциями (табл. 2.4). Затем спектры акселерограмм, зарегистрированных этими станциями, делились на полученную частотную характеристику верхней зоны разреза. Понятно, что такой подход не дает полного представления о влиянии грунтовых условий на сейсмические воздействия из-за возникающих остаточных деформаций при сильных землетрясениях, но он учитывает основные волновые эффекты. К недостаткам метода относится то, что использованные скоростные разрезы характеризуют только самую верхнюю зону – до 100 м, скоростные характеристики ниже этой зоны не учитываются. Поэтому различия в спектрах могут быть обусловлены более глубокими горизонтами разреза. Таким образом, с помощью

полученных АЧХ верхней зоны разреза можно приводить спектры к грунту I категории только номинально, а именно – по скоростям $V_P \geq 2$ км/с, $V_S \geq 1$ км/с и объемной массе $\rho > 2.1$ г/см³ [Строительные нормы..., 2011].

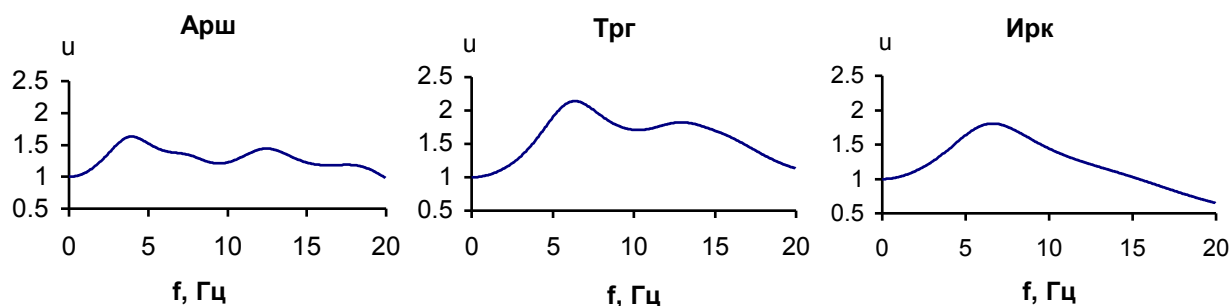


Рис. 2.7. Типичные АЧХ верхней зоны разреза под сейсмическими станциями: *a* – Аршан, *б* – Тырган, *в* – Иркутск.

На рис. 2.8 приведены примеры спектров акселерограмм землетрясений, зарегистрированных сейсмическими станциями из разных зон БРЗ. Основные характеристики всех использованных спектров сгруппированы по магнитудам и эпицентральному расстояниям в табл. 2.5.

Таблица 2.4

Параметры типичных скоростных разрезов под сейсмическими станциями

Сеймостанция	Мощность слоев (<i>h</i>), м	Объемная масса грунтов (ρ), г/см ³	Скорость волн, м/с	
			Продольные (V_P)	Поперечные (V_S)
Аршан	2.5	1.7	500	220
	60	2.1	1880	900
		2.6	4000	2180
Тырган	10	1.8	900	440
	7	2.0	1390	630
	12	2.3	1520	670
		2.6	4000	2180
Иркутск	6	1.6	460	230
	16	1.8	1700	600
		2.4	3200	1700

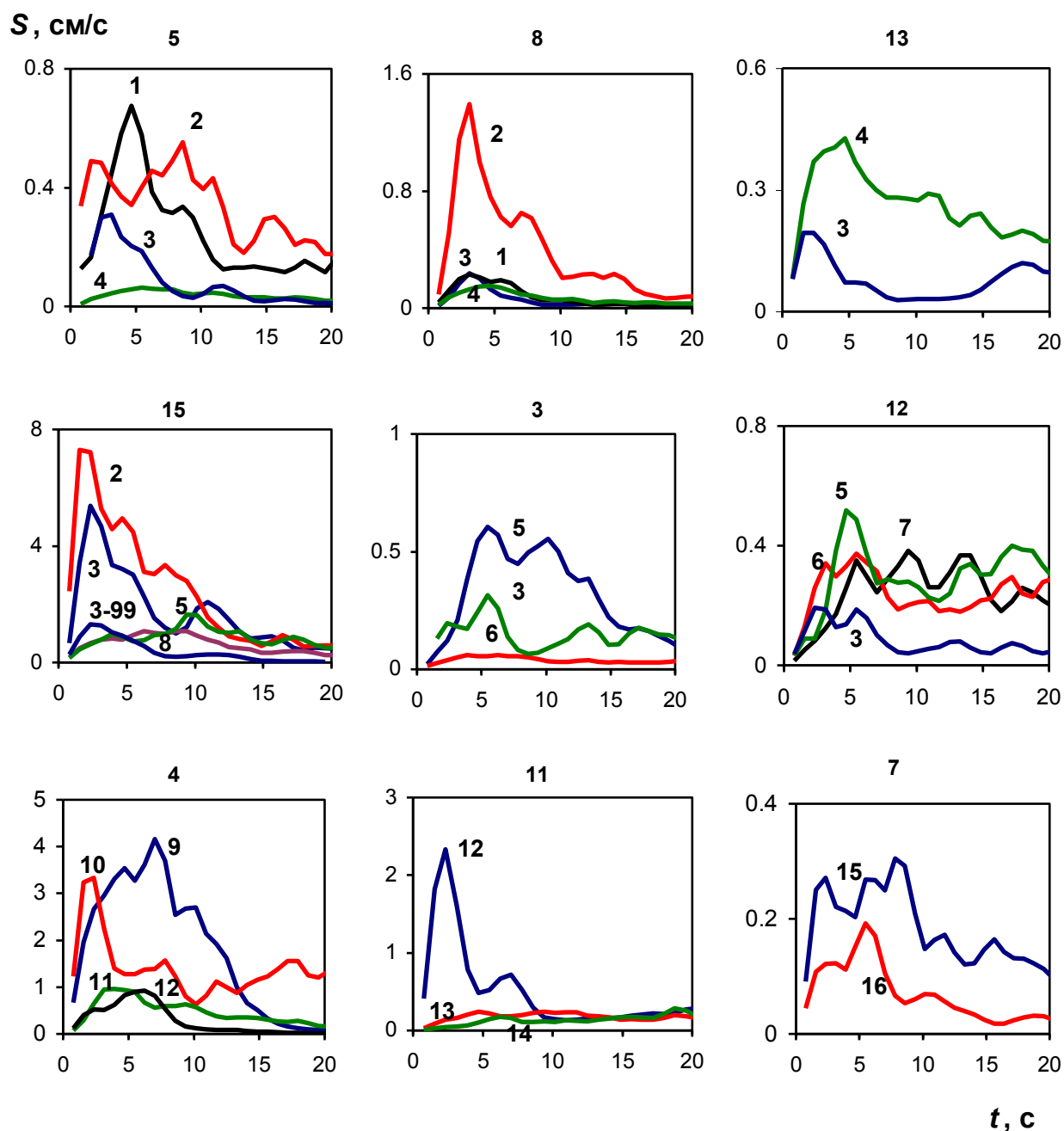


Рис. 2.8. Примеры спектральных плотностей акселерограмм, зарегистрированных в различных районах БРЗ (с учетом АЧХ грунтов под сейсмическими станциями). Номера графиков соответствуют номерам землетрясений в табл. 2.2; цифры у спектров сейсмостанций: 1 – Монды, 2 – Аршан, 3 – Иркутск (3-99 – для земл. № 1), 4 – Орлик (грунт I кат.), 5 – Тырган, 6 – Суво (грунт I кат.), 7 – Онгурены (грунт I кат.), 8 – Закаменск, 9 – Уоян, 10 – Кумора, 11 – Н.-Ангарск, 12 – С.-Муйск, 13 – Уакит, 14 – Улюнхан, 15 – Чара (грунт I кат.), 16 – Неляты

Таблица 2.5

Средние спектральные характеристики акселерограмм, сгруппированные по магнитуде и эпицентральных расстояниям (в скобках – интервал значений)

Δ , км	S_m	f_{S_m}	$(f_1-f_2)_{0.7S_m}$	$\delta f_{0.7S_m}$	$(f_1-f_2)_{0.5S_m}$	$\delta f_{0.5S_m}$
$M = 4.7-5.5$						
40 (20-50)	0.7 (0.2-2.3)	6.2 (1.6-9.4)	2.5 – 9.5	7.0	1.4 – 11.3	9.8
77 (51-100)	0.6 (0.3-1.0)	4.0 (1.6-8.6)	1.9 – 7.0	5.1	1.4 – 8.3	6.9
125 (101-150)	0.3 (0.1-0.8)	7.5 (3.8-8.6)	4.0 – 9.9	5.9	2.7 – 11	8.3
233 >150	0.1 (0.1-0.3)	4.6 (2.3-7.8)	2.6 – 8.7	6.1	2.1 – 10.2	8
$M = 5.6-6$						
22 (20-50)	3.8 (3.3-4.2)	3.8 (1.3-6.3)	1.6 – 5.0	3.5	0.8 – 7.5	6.7
71 (51-100)	0.2 (0.01-0.4)	6.2 (3.9-8.6)	3.4 – 9.9	6.5	2.3 – 13.3	11
120 (101-150)	0.7 (0.4-1.0)	4.1 (3.1-5.5)	2.3 – 6.1	3.7	1.6 – 9.9	8.3
222 >150	0.3 (0.1-0.5)	3.9 (3.1-4.7)	2.1 – 5.5	3.4	1.3 – 7.3	6
$M = 6.1-6.3$						
75 (51-100)	3.4 (1.3-5.4)	2.3 (2.3-2.3)	1.6 – 4.1	2.5	1.6 – 5.6	4.0
125 (101-150)	2.9 (0.4-7.3)	3.9 (0.8-7.8)	1.3 – 6.8	5.5	0.8 – 10.7	9.9
265 >150	1.1 (0.2-1.)6	3.5 (1.6-8.6)	3.4 – 6.1	2.7	1.3 – 7.6	6.4

Примечания. В табл. 2.5, 2.6 S_m (см/с) – значение максимума спектральной плотности акселерограммы; f_{S_m} (Гц) – соответствующая ему частота, $(f_1-f_2)_{0.7S_m}$, $(f_1-f_2)_{0.5S_m}$ (Гц) – интервалы частот спектров на уровнях 0.7 и 0.5 S_m соответственно, $\delta f_{0.7S_m}$, $\delta f_{0.5S_m}$ (Гц) – ширина спектра на уровнях 0.7 и 0.5 S_m соответственно.

На рис. 2.8 (№ 5) показаны спектры для землетрясения с взбросовой подвижкой в очаге ($M=5.4$, 2003 г., юго-западный фланг БРЗ), а на рис. 2.8 (№ 15) – со сбросо-сдвиговой ($M_w=6.3$, 2008 г., южный Байкал). Из рис. 2.8 видно, что спектры акселерограмм для землетрясений различных эпицентральных расстояний по форме могут быть похожими, например, с/ст. Иркутск, и достаточно сильно различаться (например, с/ст. Аршан), чего нельзя сказать об их уровне. В целом же, как это видно на рис. 2.8 и табл. 2.5, форма спектров, их частотный состав меняются с изменением эпицентрального расстояния, условий регистрации и других факторов. Так, интервал частот, соответствующий наибольшей спектральной плотности ускорений $(f_1-f_2)_{0.75m}$, меняется от 0.78–3.12 Гц (рис. 2.8, № 8 и 11) до 3–15 Гц (рис. 2.8, № 3 и 12).

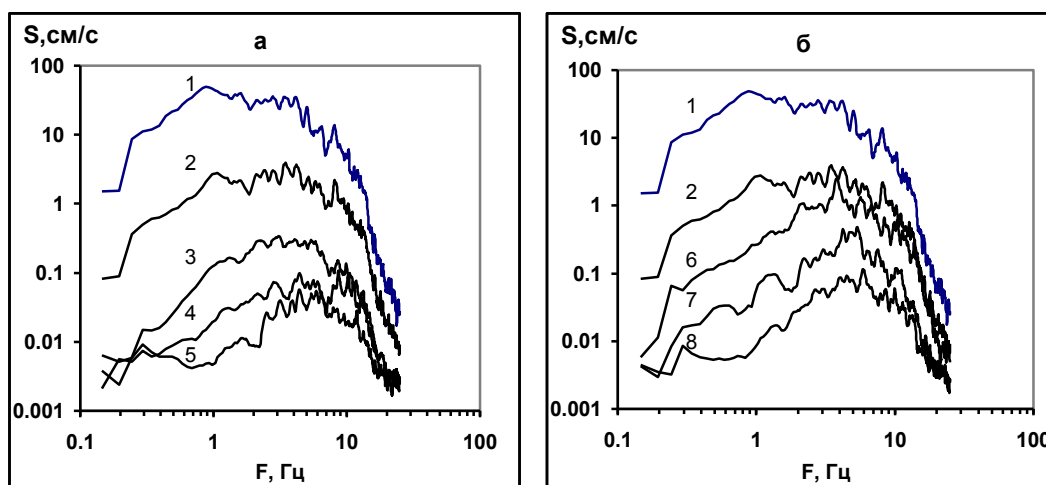


Рис. 2.9. Изменение спектров ускорений с увеличением магнитуды землетрясений, зарегистрированных на с/ст. Иркутск.

а – спектры форшоков (3-5), *б* – спектры афтершоков (6-8) землетрясения, произошедшего 25.2.1999 г. на Южном Байкале ($M=5.9$ и $\Delta=77$ км, $h=17\pm 2$ км); здесь же показаны: спектр зарегистрированной акселерограммы основного землетрясения (2) и расчетный спектр в случае увеличения магнитуды до 7.5 при неизменных h и Δ (1). Параметры приведенных на рисунке спектров даны в табл. 2.6: № п/п соответствует цифре у спектра на рисунке.

Однако если ограничиться только теми землетрясениями, для которых близки пути распространения и условия регистрации, то наблюдается следующая закономерность – с ростом магнитуды спектр смещается в более низкочастотную область, ширина же спектра с увеличением M остается практически постоянной. Это хорошо видно на рис. 2.9, где представлены спектр ускорения основного землетрясения 25.02.1999 г. ($M=5.9$),

зарегистрированного с/ст. Иркутск в южной части Байкала, а также спектры его форшоков (а) и афтершоков (б). Основные параметры этих спектров приведены в табл. 2.6. При этом смещение сохраняется для спектров акселерограмм, зарегистрированных как до основного толчка, так и после него. Разница заключается только в том, что спектры форшоков шире спектров афтершоков. По частотному составу спектры афтершоков по сравнению со спектрами форшоков обеднены как низкими, так и высокими частотами.

Функции $\beta_M(f)$ и $n_{эф}(f)$ находились согласно уравнениям (3). Определение $\beta_M(f)$ проводилось для различных регионов БРЗ отдельно, тогда как зависимость $n_{эф}(f)$ рассматривалась для всей зоны в целом в предположении об относительно однородном строении среды в пределах БРЗ и соответственно приблизительно одинаковых условиях распространения сейсмических волн в ее пределах.

Таблица 2.6

Основные параметры спектров Южно-Байкальского землетрясения 1999 г.

№ п/п	M	S_m	f_{S_m}	$(f_1-f_2)_{0.7S_m}$	$\delta f_{0.7S_m}$	$(f_1-f_2)_{0.5S_m}$	$\delta f_{0.5S_m}$
Расчетное							
1	7.5	46	1.0	0.6 – 4.2	3.6	0.5 – 5.1	4.5
Основное							
2	5.9	3.74	3.5	1.0 – 4.5	3.5	0.8 – 6.0	5.2
Форшоки							
3	4.6	0.32	3.2	2.0 – 6.0	4.1	1.4 – 6.7	5.4
4	3.9	0.09	4.5	2.7 – 6.4	3.7	2.3 – 6.6	4.4
5	3.3	0.06	4.5	3.2 – 6.7	3.5	3.0 – 8.5	5.6
				среднее	3.8		5.1
				стандарт	0.3		0.5
Афтершоки							
6	5.5	2.44	3.9	3.6 – 4.0	0.4	3.7 – 5.7	2.3
7	4.4	0.48	5.4	4.1 – 5.7	1.6	3.9 – 5.8	1.8
8	3.2	0.11	6.0	4.2 – 6.2	2.1	3.1 – 6.9	3.8
				среднее	1.4		2.6
				стандарт	0.7		0.8

Примечание. № п/п соответствует цифре у спектров на рис. 2.9.

В результате для функции затухания $n_{\text{эф}}(f)$ было получено следующее выражение:

$$n_{\text{эф}}(f) = -0.66 \lg(f) - 1.68 \pm 0.11$$

при коэффициенте корреляции $R=0.84$.

Полученные для разных районов значения функции $\beta_M(f)$ различались незначительно, в пределах ошибки определения. Поэтому в окончательном виде функции объединили в одну:

$$\beta_M(f) = -0.38 \lg(f) + 0.92 \quad (R=0.86).$$

Таким образом, сравнивались два способа количественной оценки сейсмических воздействий – по a_m и с использованием спектров. Используя полученные функции $n_{\text{эф}}(f)$ и $\beta_M(f)$, возможно, во-первых, прогнозировать сейсмические воздействия различных магнитуд на разных расстояниях и, во-вторых, дать прогнозную оценку сейсмических воздействий, имея записи относительно слабых землетрясений.

На рис. 2.10 приведены расчетные спектры и акселерограммы для двух землетрясений с прогнозной магнитудой $M=7.5$ и $\Delta=80$ км (из очагов южного Байкала и юго-западного фланга БРЗ), зарегистрированных на грунтах II и I категорий. Для этой цели было использовано обратное преобразование Фурье. В качестве амплитудных спектров ускорения взяты спектры записей реальных землетрясений. Затем с учетом функций $n_{\text{эф}}(f)$ и $\beta_M(f)$ эти спектры были приведены к спектрам, соответствующим $M=7.5$ и $\Delta=80$ км. В качестве фазовых спектров взяты фазовые спектры акселерограмм, зарегистрированных на этих грунтах при наиболее сильных землетрясениях в исследуемом районе. Так, для грунтов II категории взят фазовый спектр акселерограммы ($M_w=6.3$), записанной с/ст. Иркутск при землетрясении 2008 г. Для грунтов I категории использовался фазовый спектр акселерограммы, записанной на с/ст. Аршан при землетрясении, происшедшем 17.09.2003 г. (Грунты, на которых расположены приборы с/ст. Аршан, ближе к грунтам I категории).

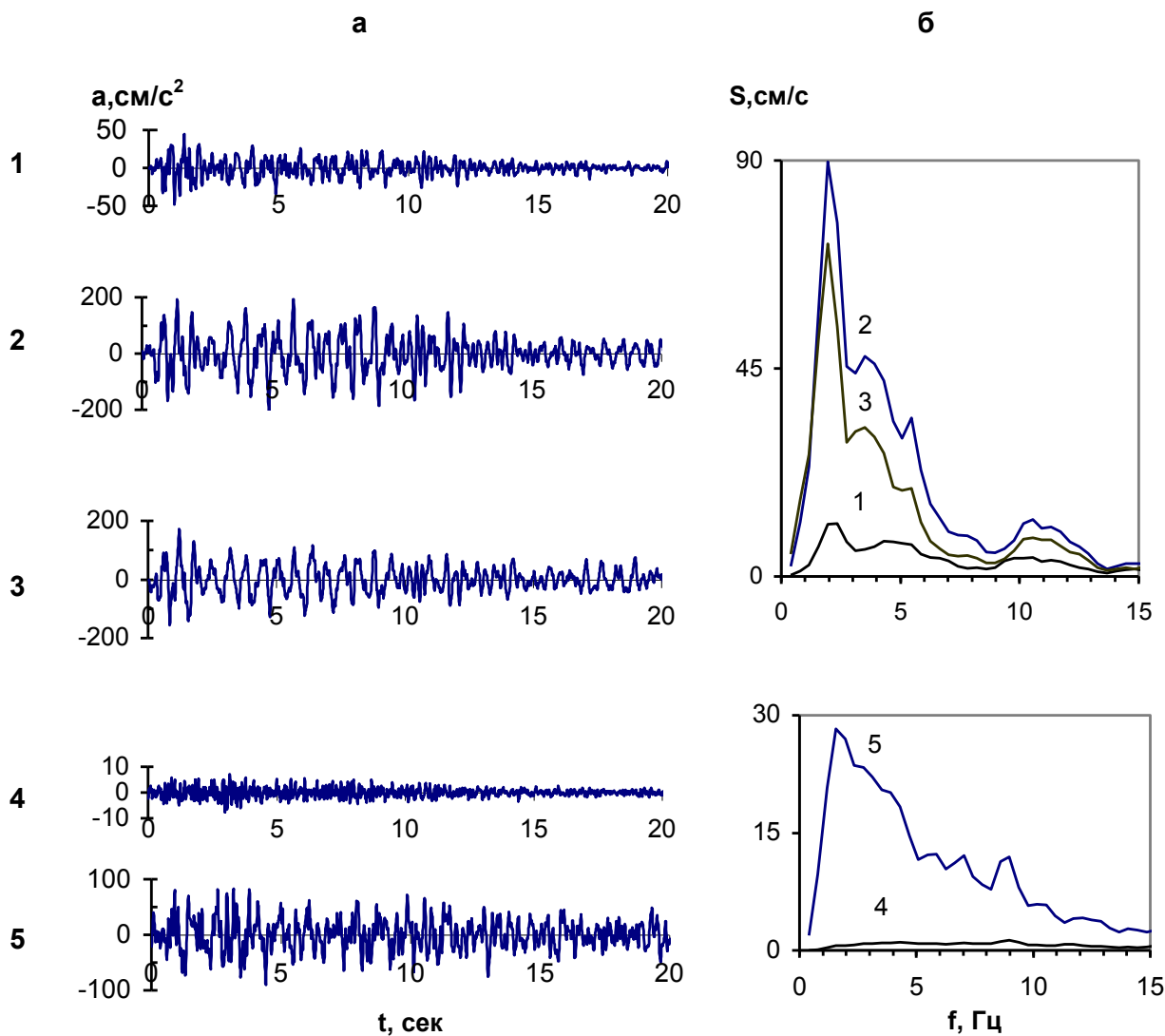


Рис. 2.10. Зарегистрированные и расчетные акселерограммы (а), соответствующие им спектры (б).

1 – акселерограмма Култукского землетрясения 27.08.2008 г. ($M_w=6.3$, $h=13\pm 5$ км), записанного с/ст. Иркутск ($\Delta=72$ км); 2 – расчетная акселерограмма для $M=7.5$, $h=13$ км (с/ст. Иркутск, $\Delta=80$ км); 3 – расчетная акселерограмма для $M=7.5$, $h=13$ км, приведенная к грунтам I-категории (т.е. с учетом частотной характеристики верхней зоны разреза под с/ст. Иркутск, $\Delta=80$ км); 4 – акселерограмма Хойтогольского землетрясения 17.09.2003 г. ($M=5.4$, $h=8\pm 6$ км), записанного с/ст. Аршан ($\Delta=64$ км); 5 – расчетная акселерограмма для $M=7.5$, $h=8$ км (с/ст. Аршан, $\Delta=80$ км)

На рис. 2.10 показаны также зарегистрированные акселерограммы. При сравнении видно, что общий характер реальных и прогнозных акселерограмм для $M=7.5$ сохраняется, что связано с совпадением фазовых спектров, определяющих форму записей. Частотный

состав несколько меняется в соответствии с изменением соотношения спектральных составляющих при пересчете спектра для большей магнитуды. Однако изменение амплитудного спектра повлекло за собой увеличение a_m до 190 см/с^2 для грунтов II категории и до 80 см/с^2 для грунтов I категории, что соответствует 8 и 7 баллам шкалы MSK-64.

На том же рисунке показаны акселерограмма (рис. 2.10, а, 3) и соответствующий ей спектр (рис. 2.10, б, 3), приведенные к грунту I категории путем деления спектров (рис. 2.10, б, 2) на АЧХ грунтов под пунктом регистрации.

Исходя из уравнения (1), связывающего a_m с M и Δ в тех же, что и предыдущих пунктах наблюдения, имеем $a_m = 135 \text{ см/с}^2$ и $a_m = 95 \text{ см/с}^2$, которые близки к значениям a_m , полученным по прогнозным акселерограммам, и также соответствуют 8 и 7 баллам соответственно.

Близость значений a_m , полученными обоими способами, свидетельствует об однозначности описания сейсмического воздействия этими способами, возможности их равноправного применения.

Несмотря на хорошее совпадение прогнозных значений a_m , полученных по уравнению (1) и с использованием $n_{эф}(f)$ и $\beta_M(f)$, необходимо отметить, что не всегда возможно по имеющимся записям относительно сильных землетрясений получить достаточно надежные зависимости основных динамических параметров акселерограмм таких как f_m , τ , от магнитуд и расстояний. Хотя, учитывая, что были использованы результаты наблюдений за относительно длительный временной интервал (10 лет), а также то, что в подавляющем большинстве рассматривались землетрясения со сбросовыми и сбросо-сдвиговыми подвижками в очаге, можно было надеяться получить более уверенные и более полные указанные зависимости.

Наиболее приемлемыми в настоящей ситуации оказались результаты, полученные по спектрам акселерограмм при том же объеме исходных данных. Возможно, это связано с различием в подходах к количественной оценке сейсмических воздействий непосредственно по динамическим параметрам акселерограмм и спектрам последних, поскольку в первом случае для получения зависимостей использовался весь исходный объем значений a_m , f_m , τ , в то время как для определения функции $\beta_M(f)$ БРЗ была разбита на пять отдельных подрегионов. Близость функций $\beta_M(f)$, полученных для этих подрегионов, позволили найти среднюю $\beta_M(f)$, характеризующую всю БРЗ. Такой подход позволил получить прогнозные акселерограммы для землетрясения с $M=7.5$.

2.3. Спектры ускорений колебаний, возбуждаемых землетрясениями юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны

Изучению связей основных динамических параметров землетрясений уделяется достаточно много внимания. Наиболее общий обзор их можно найти в работах [Штейнберг и др., 1993, Чернов, 1989, Павленко, 2011]. Получению средних спектров Фурье ускорений при землетрясениях для описания амплитудно-частотного состава сильных движений грунта, характеризующих ту или иную сейсмически опасную зону, посвящены работы по землетрясениям Камчатки [Петухин и др., 2004, Гусев и др., 2006]. Спектры ускорений относительно сильных землетрясений для Прибайкалья были описаны ранее [Дреннов и др., 2009]. Для инженерных расчетов необходимо иметь акселерограммы, поэтому все большее значение приобретает моделирование таких акселерограмм [Аптикаев, Эртелева, 2002, Махдавиан и др., 2005, Павленко, 2009]. Одним из основных источников задания параметров таких акселерограмм могут служить спектры наблюдаемых землетрясений и их экстраполяция на более высокие энергии.

Для получения спектров ускорений юго-запада Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) были использованы записи акселерограмм относительно сильных землетрясений сейсмическими станциями Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН (БФ ГС СО РАН) [<http://www.seis-bykl.ru>] (рис. 2.11, табл. 2.7), произведенных в течение 1999 – 2009 годов. Регистрация велась цифровыми сейсмостанциями "Байкал-10" и "Байкал-11", имеющих столообразные амплитудно-частотные характеристики в диапазоне 0.5 – 10Гц и 0.5 – 20Гц соответственно, с шагом дискретизации $\Delta=0.01$ сек. [Гилева и др., 2008].

В работе использованы записи акселерограмм землетрясений с $M=4-6.5$ и эпицентрными расстояниями 50–350 км. По геологическим и сейсмологическим данным [Ружич и др., 2002] в настоящее время в районе юго-западной части БРЗ "рифтовые" подвижки в очагах землетрясений, возникающие под влиянием близгоризонтального растяжения преимущественно северо-западно-юго-восточной ориентации и близвертикального сжатия, свойственные большей части БРЗ, начинают терять свое доминирующее значение, уступая место другим типам смещений: сбросо-сдвигам, сдвигам и взбросам. Средние значения глубин очагов землетрясений Прибайкалья, полученные по многолетним наблюдениям равны 15 км по С.И. Голенецкому [Голенецкий, 1997] и от 12 до 37 км при среднем значении 21.6 км для землетрясений с $M \geq 4.0$ по Н.А. Радзиминович [Радзиминович, 2010]. Магнитуды землетрясений определялись по формуле Раутиан Т.Г. [Раутиан, 1960] через

энергетический класс К, который брался по каталогу БФ ГС СО РАН. Характеристика очагов взята из литературных данных [Радзиминович Я. и др., 2010, Мельникова и др., 2009а, Мельникова и др., 2009б; Duan, 1997].

Спектры рассчитывались методом Уэлча [Марпл, 1990; Trifunac, 1989]. Для спектрального анализа брали участки акселерограмм от начала вступления поперечных волн, включающих максимальную группу колебаний, длительностью 20 сек. При длине окна 2.56 сек. шаг по частоте составлял 0.39 Гц, стандартная ошибка спектра $\epsilon=0.27$.

Все спектры приводились к грунтам первой категории путем их деления на амплитудно-частотную характеристику грунтовых условий верхней зоны разреза соответствующей сейсмостанции. Последние были определены ранее двумя независимыми методами: а) – расчетным, опирающемся на построение скоростных моделей верхней зоны разреза и дальнейшим расчетом по программе Л.И. Ратниковой [Ратникова, 1983] и б) – спектральных отношений H/V Ю. Накамуры [Nakamura, 2008], опирающемся на совместные записи горизонтальной и вертикальной составляющих землетрясений на одной сейсмостанции.

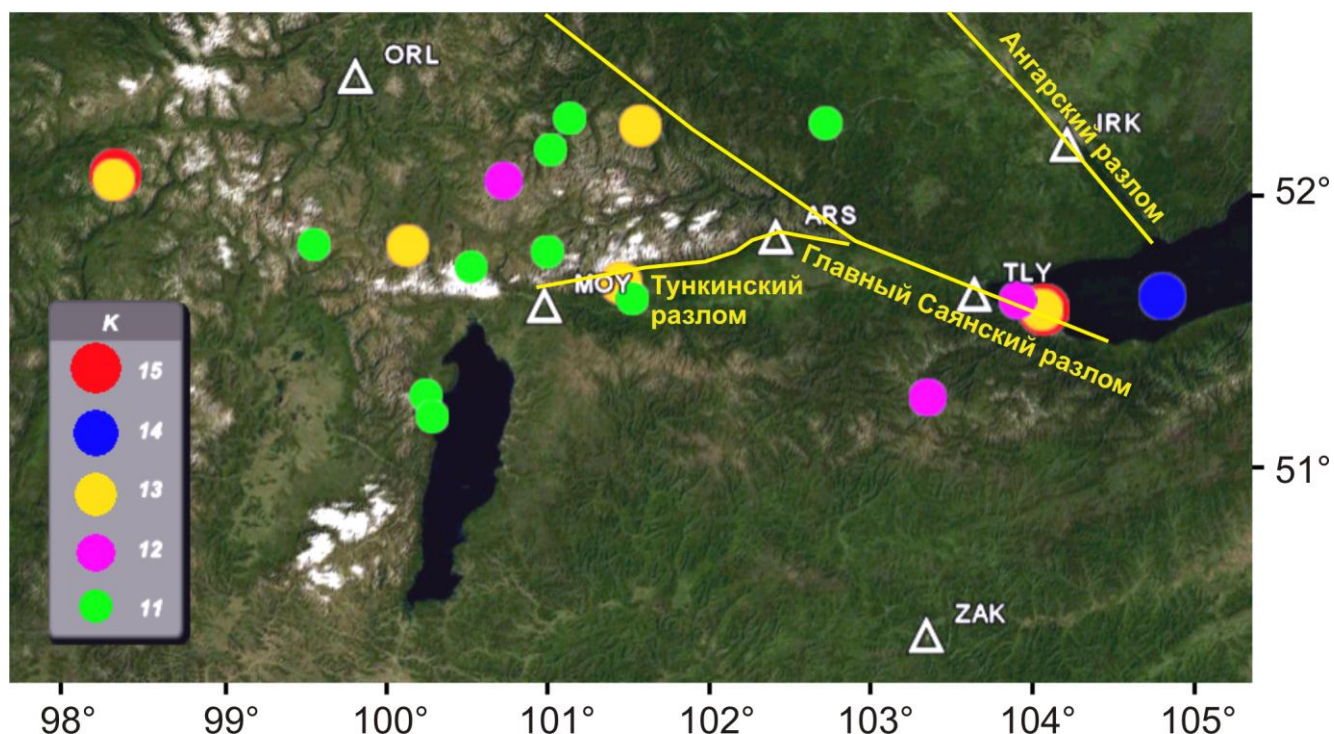


Рис. 2.11. Карта эпицентров землетрясений юго-западной части Байкальской рифтовой зоны за 1999 – 2009гг., $M>4$. Δ – сейсмостанция: ARS – Аршан, IRK – Иркутск, MOY – Монды, ORL – Орлик, TLY – Талая, ZAK – Закаменск.

Таблица 2.7

Основные параметры землетрясений с $M > 4$, произошедших в юго-западной части БРЗ в 1999-2009гг.

№ п/п	Дата и время	Координаты эпицентров		К _р	М	Сейсмостанция, эпицентральное расстояние (км), интенсивность (баллы)
		φ	λ			
1	1999-02-25 18-58-29.9	51.64	104.82	14.6	5.9	Иркутск 76 5-6б, Талая (Южно-Байкальское)
2	2002-09-01 05-19-13.9	51.29	103.33	12.4	4.7	Аршан 94, Монды 168, Орлик 279
3	2003-09-17 02-59-56.0	51.75	101.52	13.7	5.4	Монды 38 5б, Аршан 64 4б, Орлик 144 2б (Хойтогольское)
4	2003-09-20 05-01-15.4	51.32	100.27	11.6	4.2	Аршан 163, Монды 63, Орлик 139
5	2003-10-20 15-21-11.2	51.69	101.53	11.6	4.2	Аршан 67, Монды 37, Орлик 151, Талая 146
6	2003-11-20 23-42-12.3	52.38	101.15	11.5	4.2	Аршан 101, Монды 80, Орлик 93, Талая 188
7	2004-01-19 23-50-53.8	51.89	100.15	13	5.0	Талая 242, Аршан 156, Монды 63, Орлик 70 (Тулгутунурское)
8	2004-03-11 09-39-09.6	52.14	100.74	12.2	4.6	Аршан 120, Монды 55, Орлик 77, Талая 206
9	2005-02-23 19-55-11.2	52.35	101.59	13.6	5.3	Аршан 86 4-5б, Монды 74 4б, Орлик 123 4-5б
10	2007-03-03 13-11-01.2	51.81	100.54	11.3	4.1	Аршан 130, Монды 35, Орлик 95, Талая 206
11	2007-11-11 22-04-32.6	52.35	102.75	11.6	4.2	Аршан 53, Монды 142, Орлик 201, Талая 96

12	2008-06-20 00-19-01.3	52.26	101.03	11.3	4.1	Аршан 103, Монды 66, Орлик 89
13	2008-07-19 00-16-40.2	51.24	100.31	11.1	3.9	Аршан 165, Монды 67, Орлик 148
14	2008-08-16 04-01-08	52.14	98.32	15.1	6.0	Аршан 283, Монды 191, Орлик 110
15	2008-08-16 04-06-41	52.12	98.31	13.8	5.4	Орлик 112 4б, Монды 191, Талая 369
16	2008-08-27 01-35-31.2	51.6	104.04	15.9	6.5	Иркутск 72км 6-7б, Аршан 119 6-7б, Закаменск 147км 5б, Тырган 202км 5-6б (Култукское)
17	2008-08-27 01-41-31.6	51.58	104.06	13.2	5.1	Иркутск 72 5б, Аршан 119, Закаменск 147, Монды 213, Орлик 310
18	2008-08-27 02-07-56.5	51.65	103.91	12.3	4.6	Аршан 107, Монды 202, Орлик 298
19	2008-09-08 18-42-40.3	51.89	99.57	11.5	4.2	Аршан 196, Монды 101, Орлик 74
20	2009-02-17 00-47-43.6	51.87	101.01	11.4	4.1	Аршан 97, Монды 22, Орлик 111

Поскольку землетрясения имели различные эпицентральные расстояния (r) и энергетические характеристики (M), спектры ускорений в зависимости от задачи приводились к одному эпицентральному расстоянию и определенной магнитуде. Для этого использовались региональные частотно-зависимые функции затухания спектров с расстоянием: эффективный коэффициент затухания $n_{эф}(f)$ и добротность среды $Q(f)$, а также функция $\beta_M(f) = \lg \Delta S / \Delta M$, показывающая приращение уровня спектра ускорения с увеличением магнитуды землетрясения [Штейнберг и др., 1993; Novikova, 1994].

Затухание спектров акселерограмм записей землетрясений определяется расхождением сейсмических волн с увеличением эпицентрального расстояния, поглощением их средой и рассеянием на различных неоднородностях, встречающихся на пути распространения сейсмического сигнала. Для объемных волн геометрическое расхождение обратно-пропорционально эпицентральному расстоянию. Поглощение и рассеяние их, как правило, не определяются отдельно, а находятся совокупно и представляют зависимость вида $Q = Q_0 f^\gamma$, где Q_0 и $\gamma = \text{const}$, а f – частота.

Наиболее простым способом определения функции затухания является представление ее в виде зависимости $r^{-n(f)эф}$, где r – эпицентральное расстояние, а показатель степени $n(f)эф$ – зависит от частоты. В нашем случае были найдены оба вида зависимостей. Для этого привлекались близкие землетрясения с эпицентральными расстояниями от 50 до 350 км и энергетическими классами $4 < M \leq 6.5$.

Значение $n_{эф}(f) = kf^c$, где f – частота, k и $c = \text{const}$, определялись по группе сейсмических станций для каждого отдельного землетрясения и затем осреднялись. В результате была получена следующая зависимость:

$$n_{эф}(f) = 0.94 \text{ для } f \leq 1 \text{ Гц} \quad \text{и} \quad n_{эф}(f) = 0.94 (\pm 0.09) f^{0.39}, \quad f = 1 - 20 \text{ Гц} \quad (R^2 = 0.97).$$

Определение добротности $Q(f) = Q_0 f^\gamma$, проводилось по тем же землетрясениям, что и $n_{эф}(f)$. Станции, участвующие в определении Q , лежали практически на одной прямой от очага землетрясения. Учитывая то, что для каждого определения Q использовалось одно и то же землетрясение, учет очагового спектра не производился, что значительно упрощало решение поставленной задачи.

Определение добротности $Q(f) = \pi f / \alpha(f) \cdot V$, где V – скорость распространения S -волн, сводилось к вычислению коэффициента поглощения $\alpha(f)$, то есть угла наклона прямой

$$\ln[Si(f) \cdot r_i^n] = \ln S_0(f) - \alpha(f) \cdot r_i,$$

построенной в координатах $x = r_i$, $y = \ln[Si(f) \cdot r_i^n]$, где i – номер станции (пункта наблюдения). $Si(f)$ – спектр, полученный на данной станции, r_i – эпицентральное расстояние, n – степень, характеризующая геометрическое расхождение сейсмического волнового поля с

расстоянием, значение которого оценивали как $1/r$ для $r \leq 70\text{км}$, $1/70$ для $70 < r < 200\text{км}$ и $(1/70)(200/r)^{0.5}$ для $r \geq 200\text{км}$ [Boore, 2003, Солоненко, 1974], $S_0(f)$ – спектральная функция очага, $V=3.55\text{км/с}$ -скорость поперечных волн.

В результате, для описания суммарного эффекта поглощения и рассеяния была получена следующая зависимость для интервала частот 0.5 – 20Гц:

$$Q=(83.4 \pm 21.8)f^{0.74} \text{ для } f=1-20\text{Гц} \text{ и } Q=83.4 \text{ для } f \leq 1\text{Гц} (R^2=0.9); \alpha(f)=(0.0106 \pm 0.0006)f^{0.24}$$

Сравнение спектров акселерограмм записей землетрясений приведенных к одинаковому расстоянию двумя способами: с использованием $n_{эф}(f)$ и $Q(f)$ (рис. 2.12) показывает их вполне приемлемое совпадение.

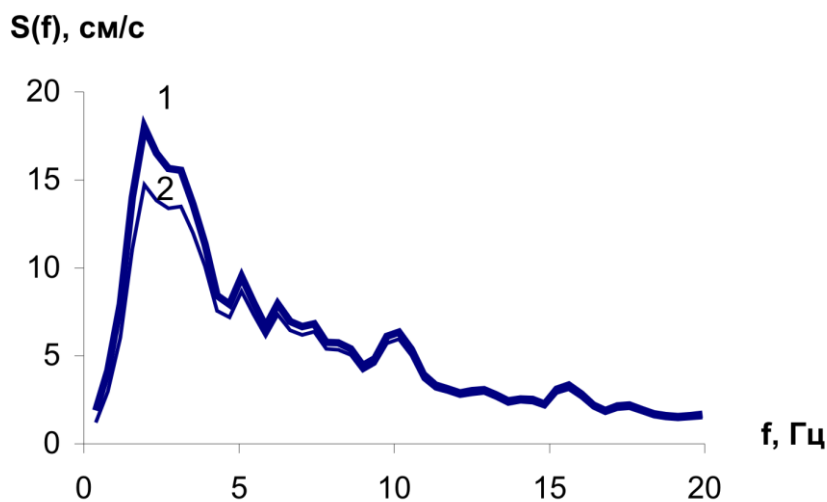


Рис. 2.12. Спектры, пересчитанные с $r = 300$ км для $r = 70$ км с использованием: 1 – эффективного коэффициента затухания $n_{эф}(f)=0.94 \cdot f^{0.39}$; 2 – добротности $Q=83.4f^{0.72}$.

Полученные результаты по $Q(f)$ для поперечных волн в диапазоне 0.5-20Гц достаточно хорошо совпадают с результатами О.В. Павленко для Северного Кавказа ($Q \sim 80f^{0.9}$, 1-8Гц) [Павленко, 2008], с мировыми, приведенными в работе [Boore, 2003], а также региональными данными, полученными А. А. Добрыниной ($Q=(91 \pm 2)f^{(0.97 \pm 0.02)}$, 1-12Гц, для Тункинской впадины) [Добрынина и др., 2011].

Для приведения спектров землетрясений к одному энергетическому уровню была найдена зависимость:

$$\beta_M(f)=0.94 \text{ для } f \leq 1 \text{ Гц} \text{ и } \beta_M(f) \pm 0.03 = -0.37 \lg(f) + 0.94 \quad (R=0.97) \text{ для } f > 1 \text{ Гц},$$

где $\beta_M(f) = \Delta \log S(f) / \Delta M$ определяет приращение логарифма значения спектра на i -частоте при увеличении магнитуды на величину ΔM .

Спектры ускорений Култукского землетрясения, полученные по максимальным компонентам, приведенные к одному эпицентральному расстоянию $\Delta=70\text{км}$, зарегистрированные на пяти сейсмостанциях, приведены на рис. 2.13а, а их основные параметры – в табл. 2.8. Видно, что на частотах до 7-8 Гц уровни их могут различаться на полпорядка. С ростом частоты $f>8\text{Гц}$ различие несколько уменьшается. Эти спектры условно можно разбить на две группы. Первая группа состоит из спектров ускорений, зарегистрированных на сейсмостанциях "Орлик", "Монды", "Аршан". Вторая группа – спектры акселерограмм, зарегистрированных сейсмостанциями "Иркутск" и "Закаменск". При этом сейсмостанции первой группы расположены так, что направление распространения фронта сейсмического волнового поля происходило квазипараллельно простиранию основных тектонических нарушений, тогда как на сейсмостанциях второй группы, сейсмическое волновое поле распространялось перпендикулярно относительно этих нарушений.

В очаге Култукского землетрясения (сбросо-сдвиг) наибольшая деформация (укорочения) наблюдалась вдоль горизонтальной сдвиговой компоненты тензора сейсмического момента, что соответствовало левому сдвигу по субширотной плоскости [Мельникова и др., 2009в]. В соответствии с этим значения спектров ускорений, зарегистрированных сейсмостанциями "Орлик", "Монды", "Аршан", направление на которые от очага Култукского землетрясения близ параллельны тензору сейсмического момента выше значений спектров ускорений, зарегистрированных сейсмостанциями "Иркутск" и "Закаменск", направление на которые от очага близперпендикулярно тензору сейсмического момента. В качестве примера на рис. 2.13в приведены спектры записей Култукского землетрясения для сейсмостанций "Аршан" и "Иркутск".

Для Южно-Байкальского землетрясения 1999 года наблюдается подобная же картина, что и для Култукского землетрясения. Так уровень спектра ускорений, зарегистрированных сейсмостанцией "Иркутск" (рис. 2.13г) значительно выше (приблизительно на полпорядка), чем спектры ускорений, зарегистрированные сейсмостанцией "Талая". При этом наибольшая деформация в очаге Южно-Байкальского землетрясения (сброс) наблюдалась вдоль компоненты тензора сейсмического момента, соответствующей меридиональной вертикальной плоскости [Мельникова и др., 2009в; Boore, 2012]. Таким образом, для обоих наиболее сильных землетрясений южной части БРЗ максимальные значения спектров ускорений землетрясений, направление для которых от очага к сейсмостанции совпадает с направлением тензора сейсмического момента разрыва, в то время как минимальные значения спектров ускорений на этих частотах наблюдаются на сейсмостанциях, фронт распространения сейсмического

волнового поля для которых перпендикулярно относительно направления максимальных деформаций в очаге. При этом для Култукского землетрясения на сейсмостанциях, направление на которые от очага близперпендикулярно тензору сейсмического момента в очаге ("Иркутск" и "Закаменск") при понижении уровней спектров ускорений происходит незначительное смещение в область более высоких частот.

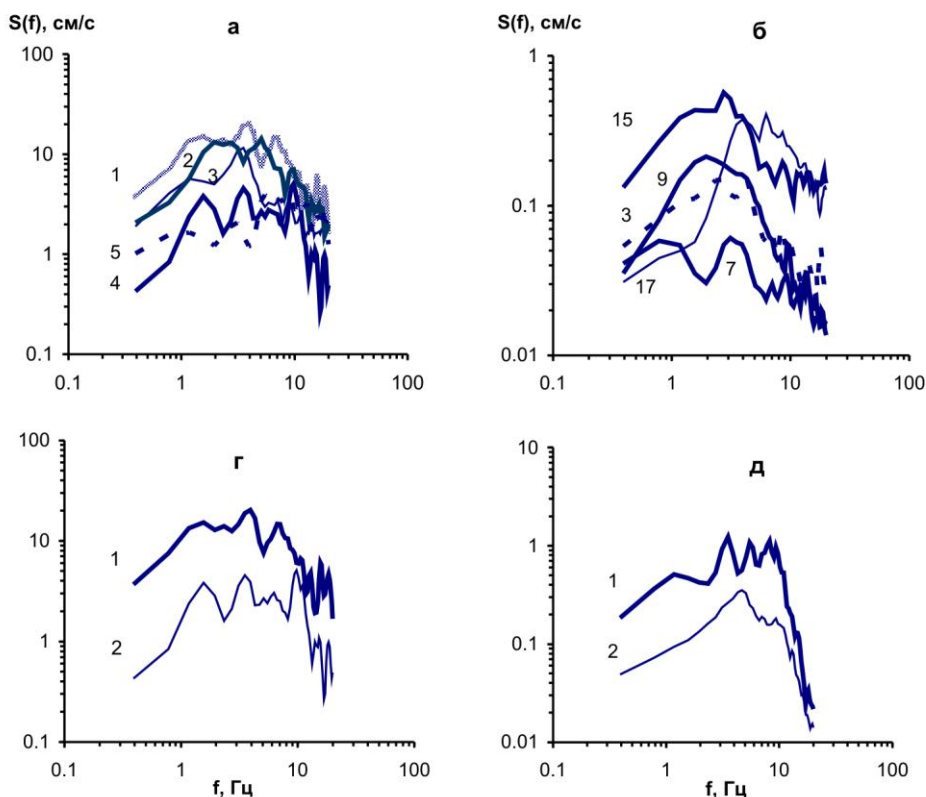


Рис. 2.13. Спектры ускорений Култукского землетрясения, зарегистрированного различными сейсмостанциями (а), спектры ускорений различных землетрясений с $M = 5-5.4$, зарегистрированных на одной сейсмостанции ГС СО РАН – Монды (б), примеры спектров ускорений Култукского (в) и Южно-Байкальского (г) землетрясений на сейсмостанциях, расположенных параллельно тензору сейсмического момента (1) и поперек ему (2).

а) 1 – Аршан, 2 – Орлик, 3 – Монды, 4 – Иркутск, 5 – Закаменск; б) цифры у спектров соответствуют номерам землетрясений табл. 2.7; в) 1 – Аршан, 2 – Иркутск; г) 1 – Иркутск, 2 – Талая.

Примечание. Спектры исправлены за частотную характеристику верхней зоны разреза и приведены к эпицентральному расстоянию $r = 70$ км.

Таблица 2.8

Основные параметры спектров ускорений Култукского землетрясения для разных сейсмостанций, $r=70$ км, с учетом грунтовых условий

	Сейсмост.	S_m , см/с	f_{Sm} , Гц	$(f_1-f_2)_{0.7S_m}$	$\delta f_{0.7S_m}$	$(f_1-f_2)_{0.5S_m}$	$\delta f_{0.5S_m}$
1	Аршан	20.3	3.9	1.2 – 7.0	5.8	1.0 – 8.2	7.2
2	Орлик	14.3	5.1	1.6 – 6.2	4.6	1.2 – 6.6	5.4
3	Монды	11.6	3.5	2.7 – 4.3	1.6	1.2 – 4.3	3.1
4	Иркутск	4.6	3.5	1.4 – 10.9	9.5	1.2 – 11.5	10.3
5	Закаменск	3.9	8.6	3.1 – 18.0	14.9	2.7 – 19.0	16.3

Примечание. № п/п соответствует цифре у спектров на рис. 2.13а; S_m , см/с – максимальный амплитудный уровень спектра, f_{Sm} – частота максимума спектра, f_1 , f_2 – частоты, ограничивающие спектры ускорения на уровнях 0.7 , $0.5 S_m$, $\delta f_{0.7S_m}$, $\delta f_{0.5S_m}$ – ширина спектра.

Возможно, дополнительным фактором, влияющим на уровень спектров, является направление очаг-сейсмостанция относительно простираения основных тектонических структур и сопровождающих их нарушений.

Спектры ускорений разных 4-х землетрясений, имеющих магнитуды в диапазоне 5.0-5.4, зарегистрированных сейсмостанцией "Монды", так же пересчитанных на одно эпицентральное расстояние $\Delta=70$ км, приведены на рис. 2.13б. Для сравнения здесь же приведен спектр ускорений афтершока Култукского землетрясения с магнитудой $M=5$. Основные их параметры приведены в табл. 2.9. Видно, что их максимальные значения различаются приблизительно на полпорядка. Таким образом, разброс спектров ускорений при одном землетрясении, зарегистрированном на разных станциях (рис. 2.13а), в принципе, сопоставим с разбросом, полученным на одной станции "Монды" по ускорениям разных землетрясений с различными типами очагов (рис. 2.13б).

Средние спектры ускорений землетрясений с близкими магнитудами, но различными подвижками в очаге, приведены на рис. 2.14, а их основные параметры – в табл. 2.10. Так спектры ускорений под номерами 1 и 2 соответствуют землетрясениям с подвижками в очаге типа сбросо-сдвига и сдвига (со сбросовой компонентой), под номерами 3 и 4 соответствуют подвижкам в очаге типа взброса и взбросо-сдвига под номерами 5 приведен средний спектр афтершока Култукского землетрясения (сбросо-сдвиг). Для взбросо-сдвиговой и взбросовой подвижек в очаге ширина спектров на уровне $0.5S_m$ больше (составляет 11 Гц), чем для спектров под номерами 1 и 2 (сбросо-сдвиг и

сдвиг), для которых ширина спектров составляет 5.4 и 3.5Гц соответственно, а их уровни значительно ниже, особенно на частотах до 5 Гц.

Таблица 2.9

Основные параметры спектров ускорений разных землетрясений с $M=5.0-5.4$ (с-ст Монды), спектры приведены к одному эпицентральному расстоянию 70км и исправлены за частотную характеристику грунтовых условий

Землетрясение	M	S_m , см/с	f_{sm} , Гц	$(f_1-f_2)_{0.7S_m}$	$\delta f_{0.7S_m}$	$(f_1-f_2)_{0.5S_m}$	$\delta f_{0.5S_m}$
15) 2008-08-16 04-06-41	5.4	0.57	2.7	1.2–3.9	2.7	0.8–5	4.2
9) 2005-02-23 19-55-11.2	5.3	0.21	2.0	1.2–4.3	3.1	1–5.1	4.1
3) 2003-09-17 02-59-56	5.4	0.15	2.73; 4.3	1.2–5	3.8	0.8–5.5	4.7
7) 2004-01-19 23-50-53.8	5	0.06	3.12	0.4–4.5	4.1	0.4–13.7	13.3
17) 2008-08-27 01-41-32	5	0.41	6.25	3.1–9	5.9	2.7–11.3	8.6

Примечание. № соответствует цифре у спектров на рис. 2.13б и табл. 2.7.

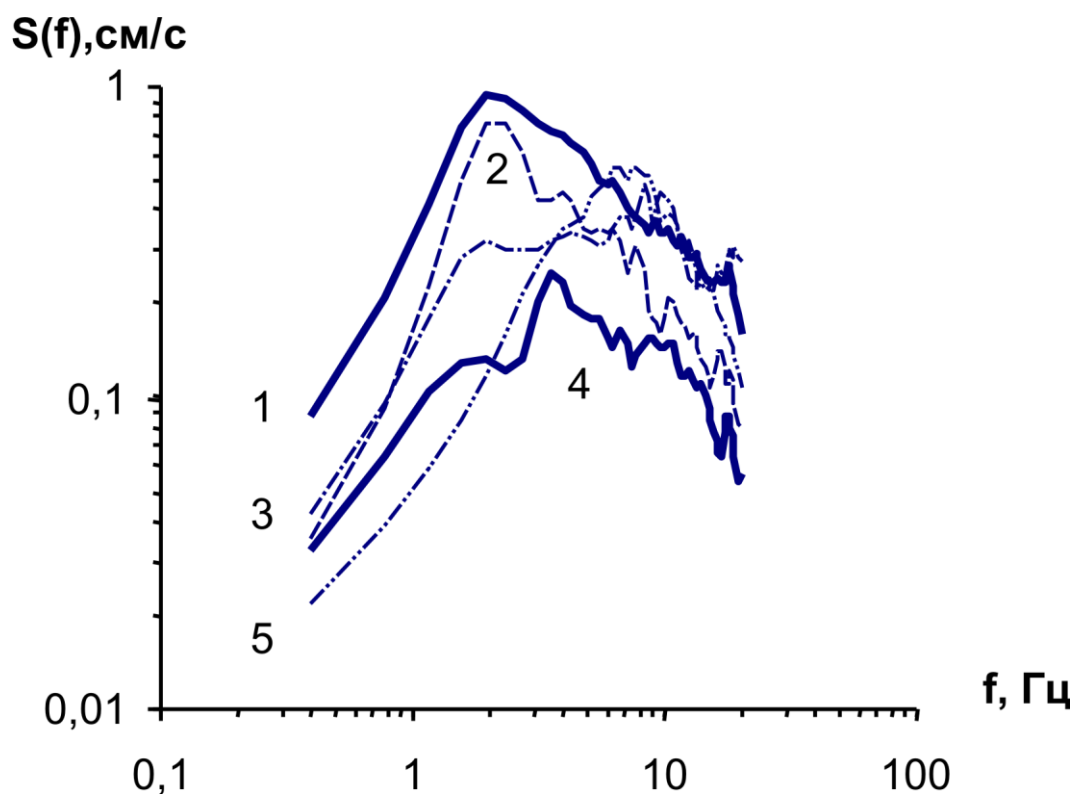


Рис. 2.14. Средние спектры ускорений землетрясений с $M=5-5.4$, имеющих разные подвижки в очаге, и афтершока Култукского землетрясения, цифры у спектров соответствуют номерам в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Основные параметры средних спектров ускорений разных землетрясений ($M=5.0-5.4$) с различными подвижками в очаге. (Спектры приведены к одному эпицентральному расстоянию 70км и исправлены за частотные характеристики грунтовых условий)

Землетрясение	M	S_m , см/с	f_{Sm} , Гц	$(f_1-f_2)_{0.7S_m}$	$\delta f_{0.7S_m}$	$(f_1-f_2)_{0.5S_m}$	$\delta f_{0.5S_m}$
1) 2008-08-16 04-06-41 (сбросо-сдвиг)	5.4	0.95	2.0	1.6–4.3	2.7	1.2–6.6	5.4
2) 2005-02-23 19-55-11.2 (сдвиг со сбросовой комп.)	5.3	0.76	2.0-2.34	1.6–3.1	1.5	1.2–4.7	3.5
3) 2003-09-17 02-59-56.0 (взброс)	5.4	0.48	8.2	4.3–11.3	7.0	1.6–13.0	11.4
4) 2004-01-19 23-50-53.8 (взбросо-сдвиг)	5	0.25	3.5	3.0 – 5.5	2.5	1.6–12.5	10.9
5) 2008-08-27 01-41-32	5	0.55	6.25	4.7–10.9	6.2	3.1 – 12.9	9.8

Примечание. № п/п соответствует цифре у спектров на рис. 2.14.

Спектр афтершока Култукского землетрясения, имеющего совпадающие с ним координаты и произошедшего практически сразу же (через 6 мин) за основным толчком, имеет достаточно выраженный максимум на частоте 6 Гц, а частотные диапазоны на уровнях 0.7 и 0.5 S_m смещены в область высоких частот относительно соответствующих диапазонов частот основного землетрясения. Следовательно, спектры ускорений афтершоков основных землетрясений не несут полной информации об амплитудно-частотном составе этих землетрясений. По своим параметрам он в значительной степени отличается от спектров основного землетрясения, особенно на частотах <3 Гц.

Расчет средних спектров ускорений производился в следующем порядке. Отбирались записи ускорений землетрясений, каждое из которых зарегистрировано, в основном, на 3-х сейсмостанциях (станции "Аршан", "Монды", "Орлик", "Иркутск", "Талая", "Закаменск"). Спектры ускорений, полученные на каждой станции, приводились к скальному основанию, путем деления на соответствующую частотную характеристику верхней зоны разреза грунтов под сейсмической станцией. Затем спектры приводились к одному эпицентральному расстоянию $\Delta=70$ км. Далее находился средний спектр ускорения данного землетрясения. Такой подход практически исключал возможное

влияние на спектр грунтовых толщ под сейсмостанциями, пути распространения сейсмического излучения, а также степени ориентации разрывных нарушений в очаге.

При определенном наборе таких средних спектров ускорений производилось разбиение их по магнитуде M . Шаг разбиения $\Delta M \sim 1$. После чего, в пределах этого шага, находились средние спектры для средней в данном интервале магнитуды. Всего было получено три осредненных спектра с магнитудами $M=4.2; 5.2; 6.1$ (рис. 2.15а).

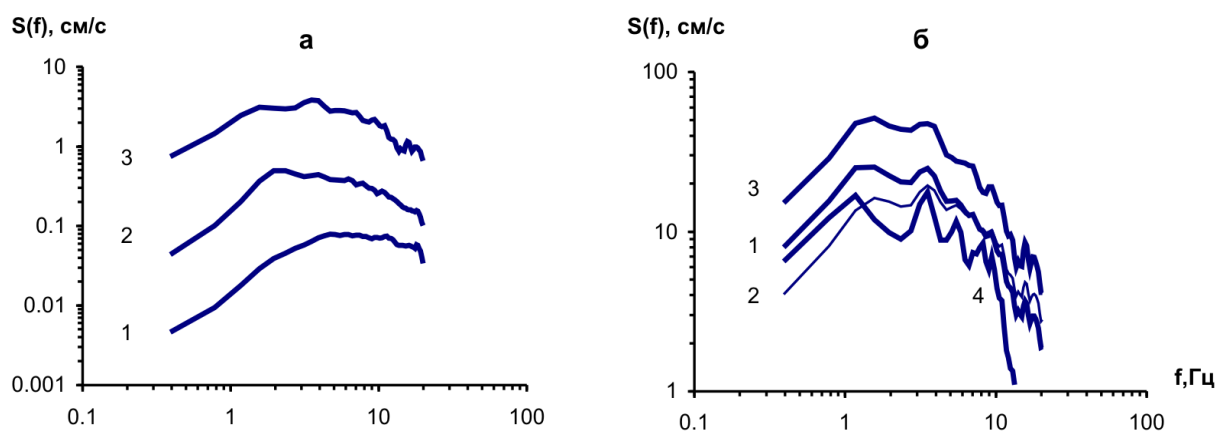


Рис. 2.15. Средние спектры ускорений землетрясений разных магнитуд юго-западной части Байкальской рифтовой зоны (а), б – расчетные спектры землетрясений для $M=7.5$.

а. 1 – $M=4.2$, 2 – $M=5.2$, 3 – $M=6.1$; б. 1 – из среднего спектра $M=6.1$ (рис. 2.15а(3)), β -региональная; 3 – из среднего спектра Култукского земл., β -региональная; 4 – из среднего спектра Южно-Байкальского земл., β -региональная; 2 – из среднего спектра $M=6.1$, с использованием $\beta=0.55$ для $M>6.5$.

Рост значений основных максимумов средних спектров при увеличении магнитуды землетрясения на единицу влечет за собой рост значений основных максимумов приблизительно в 5-6 раз, с ростом магнитуды происходит снижение частоты основного максимума (рис. 2.15а, табл. 2.11а). В то же время для спектра ускорения землетрясения с $M=6.1$ отмечается два сопоставимых максимума на частотах 1.6 и 3.5 Гц. С ростом магнитуды происходит уменьшение интервала частот (ширины спектра) как на уровне $0.7S_m$, так и на уровне $0.5S_m$, причем, с ростом магнитуды землетрясения уменьшение этих интервалов становится менее существенным. Так, если при переходе от $M=4$ к $M=5$, сокращение интервалов на уровне $0.7S_m$ составляет ~ 9 Гц, а на уровне $0.5S_m$, ~ 7 Гц, то при переходе от $M=5$ к $M=6$ это сокращение составляет уже 0.4 и 1.4 Гц соответственно. Это говорит о том, что с дальнейшим увеличением магнитуды, большей $M>6$, происходит, по-

видимому, как бы "насыщение" частотного диапазона сейсмического сигнала в пределах 4-5 Гц на уровне $0.7S_m$ и 7-8 Гц на уровне $0.5S_m$.

Таблица 2.11

Основные параметры средних спектров землетрясений (а) и расчетные спектры для землетрясения $M=7.5$ (б).

а	M	S_m , см/с	f_{Sm} , Гц	$(f_1-f_2)_{0.7S_m}$	$\delta f_{0.7S_m}$	$(f_1-f_2)_{0.5S_m}$	$\delta f_{0.5S_m}$
1	4.2	0.08	6	3–18.4	15.3	2.0–19.5	17.6
2	5.2	0.49	2	1.6–7.8	6.2	1.2–11.3	10.2
3	6.1	3.1; 3.8	1.6; 3.5	1.2–7	5.8	1.0–9.8	8.8
б							
1	7.5	25.4; 24.9	1.6; 3.5	1–4.3	3.3	0.5–6.6	6.1
2	7.5	16.3; 19.4	1.6; 3.5	1.2–6	4.8	1–9.5	8.5
3	7.5	51.5; 47.5	1.6; 3.5	1–4.3	3.3	0.5–7	6.5
4	7.5	16.9; 17.7	1.2; 3.5	0.8–3.9	3.1	0.5–6	5.5

Примечание. № п/п (а,б) соответствует цифре у спектров на рис. 2.15.

Спектры ускорений землетрясений, экстраполированы на значение $M=7.5$ (рис. 2.15г). Основные их параметры приведены в таблице 2.11б. Спектры рассчитаны из средних спектров Култукского землетрясения с $M=6.5$ (рис. 2.15б(3)), Южно-Байкальского с $M=5.9$ (рис. 2.15б(4)) и среднего спектра с $M=6.1$ рис. 2.15а(3) (рис. 2.15б(1)). Для расчета этих спектров взято уравнение $\beta_M(f)$ (региональное). На рис. 2.15.б(2) приведен расчетный спектр для $M=7.5$ с использованием среднего спектра ($M=6.1$), пересчитанного на $M=6.5$ по региональной зависимости, а далее по зависимости $\beta_M(f)=0.55=const$. Такой выбор $\beta_M(f)$ объясняется полученными чуть ранее выводами о возможном "насыщении" частотного диапазона спектров сейсмического сигнала при землетрясении с $M>6$. Но поскольку не имеется записей землетрясений с $M>6.5$, то за основу значения $\beta_M(f)$ были взяты данные, полученные для Камчатки А.А.Гусевым и др., для Кавказа П.И. Крамыниным [Гусев и др., 2006, Петухин и др., 2004, Крамынин, 2009; Wald, 1999].

Спектры, соответствующие $M=7.5$ (рис. 2.15б и табл. 2.11б), полученные из разных исходных спектров с использованием разных $\beta_M(f)$, отличаются друг от друга как по уровню (в 1.5-2 раза в зависимости от частоты), так и по ширине. При этом у спектров, полученных с использованием региональной функции $\beta_M(f)$, происходит значительное

уменьшение диапазонов частот, практически в 2 раза на уровне $0.7S_m$ и в 1.3 раза на уровне $0.5S_m$. Естественно при дальнейшем увеличении магнитуды землетрясения эти частотные интервалы будут еще более уменьшаться, что противоречит имеющимся экспериментальным данным [Копничев, 1985; Гусев и др., 2006]. В то же время, при использовании для $M > 6.5$ $\beta_M(f) = 0.55 = \text{const}$ (независимой от частоты) эти интервалы частот изменяются довольно умеренно, при этом уровень спектра близок к значениям, полученным при использовании для экстраполяции среднего спектра Южно-Байкальского землетрясения и, следовательно, не противоречит имеющимся экспериментальным данным. Поэтому в дальнейших исследованиях зависимости спектра от магнитуды землетрясений с $M > 6-7$ предпочтительней, по-видимому, пользоваться зависимостью $\beta_M(f) = \text{const}$ во всем диапазоне частот. Что касается, неопределенности с уровнем спектров, то эта проблема может соответственным образом разрешиться с дальнейшим накоплением и обработкой экспериментальных данных. Вместе с тем, полученные средние спектры дают представление об амплитудно-частотном составе сильных воздействий и могут быть использованы в практической деятельности.

Однако для Байкальской рифтовой зоны, для юго-западной части, в частности, значение $\beta_M(f) = \text{const}$ необходимо уточнять по мере поступления экспериментального материала с $M > 6-7$.

Таким образом, рассмотрение характеристик спектров ускорений землетрясений юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны позволяет сделать следующие выводы.

1. Частотный состав спектров ускорений зависит от типа подвижки в очаге, выражающийся в расширении спектров по частоте для взбросо-сдвигов и взбросов по отношению к спектрам для сбросо-сдвигов и сдвига со сбросовой компонентой.
2. Уровень спектров ускорений, зарегистрированных на различных сейсмостанциях, зависит от направленности подвижки в очаге. Так на станциях, направление на которые от очага совпадает с направлением тензора сейсмического момента в очаге, уровень спектров превышает уровень спектров на сейсмостанциях, направление от очага на которые близ перпендикулярно последнему.
3. Спектры ускорений умеренно сильных афтершоков основного землетрясения не несут полной информации об амплитудно-частотном составе основного землетрясения. В нашем случае это выражается в большей высоко частотности спектра афтершока.

4. Разброс уровней спектров ускорений одного и того же землетрясения, зарегистрированного на различных сейсмостанциях, сравним с разбросом уровней спектров различных землетрясений, зарегистрированных одной станцией.
5. Полученные средние и прогнозные спектры ускорений юго-западной части Байкальской рифтовой зоны могут служить оценочной характеристикой динамических параметров сейсмических сигналов. Очевидно, дальнейшее изучение спектров должно быть направлено, не только на их простое уточнение, но и на учет типа подвижек в очаге, их направленности, относительного расположения сейсмостанции и очага и направлений основных разрывных нарушений и других факторов.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

3.1. Краткий обзор методов формирования исходного сигнала

Задание акселерограммы, соответствующей исходной сейсмичности – одна из задач сейсмического микрорайонирования. Первым из методов решения этой задачи рассмотрим генерирование искусственных акселерограмм на основе масштабирования реальных записей. В этом методе осуществляется масштабирование четырех основных параметров сейсмического движения грунта до ожидаемых значений. Основанием служат эмпирические соотношения, полученные для района строительства, для более обширного региона или по мировым данным. Расчет вероятных значений параметров проводится с учетом ожидаемых магнитуд землетрясений, типов подвижек в очагах, расстояния, категории грунтов [Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О., 2002].

В методике, предложенной в работе [Гусев А.А., Гусева Е.М., 2009], используется сейсмологическое обоснованные модели излучателя-очага, представленного решеткой точечных излучателей-дислокаций со случайными сейсмическими моментами (амплитудами) и случайными временными функциями упругой среды. Для описания распространения волн и остаточных перемещений в ней разработан новый метод расчета функций Грина. К методам, в которых изучаются региональные параметры излучения и распространения сейсмических волн, можно отнести и моделирование акселерограмм землетрясений [Павленко О.В., 2009], где параметры оцениваются путем решения обратных задач их стохастического моделирования. Рассмотрено применение метода для оценки параметров колебаний земной поверхности при возможных в будущем сильных землетрясениях в районах Северного Кавказа.

Разработанный в НИС Гидропроекта метод [Оценка влияния грунтовых условий..., 1988] подразумевает, что акселерограммы удовлетворяют определенным условиям: уровень колебаний изменяется в соответствии со средней кривой, полученной при анализе мировых данных; балльность, повторяемость расчетных землетрясений, требуемый уровень надежности сооружений и их конструктивные особенности учитываются путем задания соответствующего множителя; нормированные спектры реакции соответствуют коэффициентам динамичности, указанных в СНиП. В ИВ ДВНЦ был разработан метод расчета колебаний от некогерентного излучателя при некоторых упрощенных предположениях [Оценка влияния грунтовых условий..., 1988]. Расчеты по этой методике

дают результаты, находящиеся в приблизительном соответствии с реальными данными. Правда, это соответствие может быть улучшено путем уточнения исходных эмпирических зависимостей.

Также предлагается использовать набор синтезированных акселерограмм, являющихся реализациями Гауссовского квазистационарного процесса [Оценка влияния грунтовых условий..., 1988]. Каждая из псевдоакселерограмм получается модуляцией реализации Гауссовского процесса. Ограничением метода является то, что синтезированные акселерограммы не следует использовать при расчете длиннопериодных ($T \geq 2$ с) конструкций. Использование акселерограмм для имитации землетрясений с $M < 5$ или землетрясений с промежуточной глубиной очага требует дополнительного обоснования.

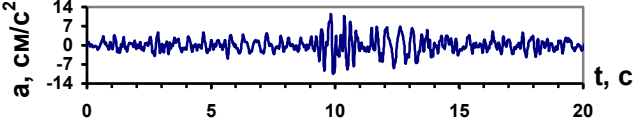
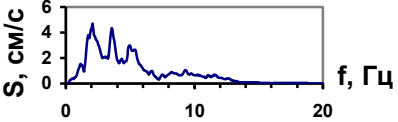
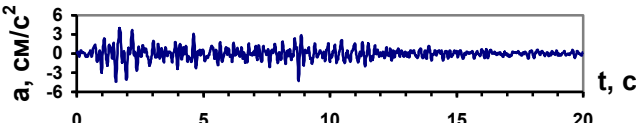
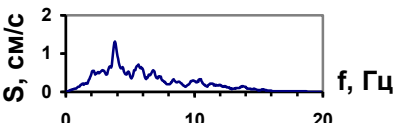
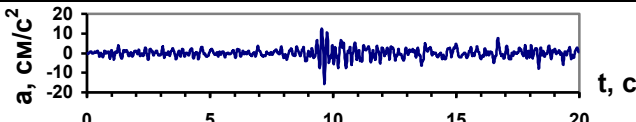
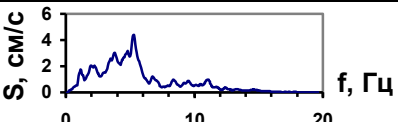
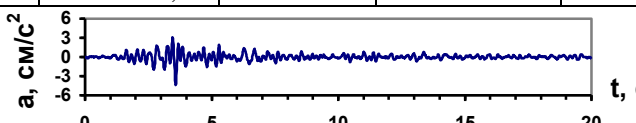
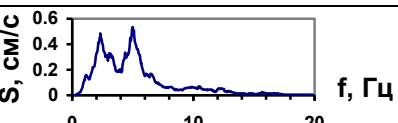
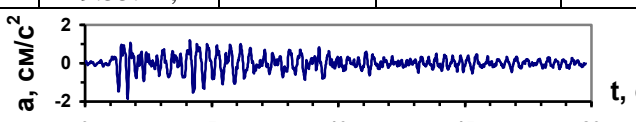
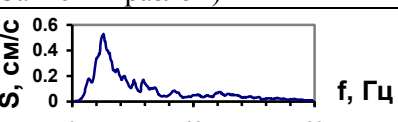
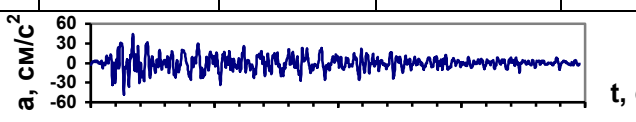
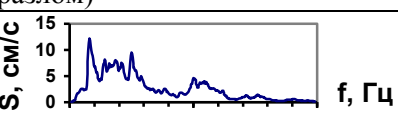
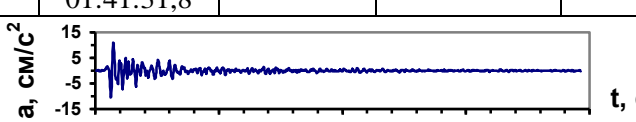
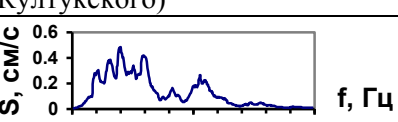
Существующие способы задания исходных акселерограмм ориентируются в основном на получение или расчет его пиковых ускорений и масштабирование в соответствии с сейсмическими шкалами. Немногочисленность зарегистрированных сильных событий, не только в зонах ВОЗ, но и в обширных регионах, заставляет обращаться либо к каталогу сильных событий, зарегистрированных мировой сейсмической сетью, либо использовать данные слабых землетрясений совместно с заданием фазовых характеристик с помощью «счетчика случайных чисел».

Реализован способ, в котором учитываются местные условия его формирования. Теоретическая основа этого способа опирается на теорию восстановления сигналов и изображений по фазовым характеристикам. В отличие от имеющихся подходов, по данным записей землетрясений региональной сети сейсмических станций задается амплитудный и фазовый спектры землетрясения с необходимыми параметрами (для задания амплитудного спектра можно также использовать мировые данные). В итоге формирование исходного сигнала сводится к ряду относительно простых процедур. Поскольку среда выступает формообразующим фактором очагового импульса, то фазовый спектр, так или иначе, учитывает излучение очага и рассеивающие свойства неоднородностей среды.

Для задания исходной акселерограммы были использованы средние амплитудные спектры ускорений нескольких землетрясений средней силы из различных зон ВОЗ, зарегистрированных сейсмостанцией «Иркутск». Магнитуда меняется от 5 до 6,3, а эпицентральное расстояние от 71 до 285 км (см. табл. 3.1). Записи акселерограмм и полученные по ним спектры характеризуют выбранные землетрясения по максимальным ускорениям и основным частотам максимумов спектров.

Таблица 3.1

Основные параметры землетрясений и их записи (зарегистрированы сейсмостанцией «Иркутск», слева – акселерограммы, справа – их амплитудные спектры), использованные для формирования исходного сигнала.

№	Дата и время	Координаты эпицентров		K	M	Эпицентральное расстояние (Δ , км), интенсивность (I , баллы)
		φ	λ			
1	25.02.1999 18:58:29,9	51,64	104,82	14,6	5,9	77 км, 5–6 баллов (Южно-Байкальское)
						
2	25.02.1999 19:11:07,0	51,65	104,8	13,7	5,4	77 км, 4–5 баллов (афтершок Южно-Байкальского)
						
3	31.05.2000 16:28:08,7	51,71	104,84	13,4	5,2	71 км, 4 балла (область Южно-Байкальского)
						
4	28.07.2002 20:28:33,4	52,99	107,71	13,1	5,1	245 км, 3 балла (Ольхонское)
						
5	23.02.2005 19:55:11,2	52,35	101,59	13,6	5,3	285 км, 2–3 балла (Главный Саянский разлом)
						
6	27.08.2008 01:35:31,4	51,62	104,06	>15,2	6,3	72 км, 6–7 баллов, дана моментная магнитуда M_w по данным NEIC (Култукское, Главный Саянский разлом)
						
7	27.08.2008 01:41:31,8	51,61	104,03	13,0	5,0	72 км, 5 баллов (Афтершок Култукского)
						

Примечание. Магнитуда M получена пересчетом из энергетического класса K по формуле Гуттенберга–Рихтера–Раутиан: $M=(K-4)/1.8$ [Оценка влияния грунтовых условий..., 1988].

Поскольку землетрясения имели различные эпицентральные расстояния (Δ , км) и энергетические характеристики (M), амплитудные спектры ускорений приводились к одному эпицентральному расстоянию и магнитуде (в нашем случае $\Delta = 80$ км и $M = 7,5$). Для этого были использованы полученные для Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) частотно-зависимая функция затухания спектров с расстоянием $n_{эф}(f)$ и энергетически зависимая функция $\beta_M(f)$, определяющая приращение уровня спектра при увеличении магнитуды на единицу. С привлечением дополнительных данных они имеют вид:

$$\begin{cases} n_{эф}(f) = 0,94, f \leq 1\text{Гц} \\ n_{эф}(f) = 0,94^{0,39}, f > 1\text{Гц} \end{cases} \quad \begin{cases} \beta_M(f) = 0,94, f \leq 1\text{Гц} \\ \beta_M(f) = -0,37 \lg(f) + 0,94, f > 1\text{Гц} \end{cases}$$

В результате был получен средний (из не сглаженных) амплитудный спектр, соответствующий некоторому моделируемому землетрясению с эпицентральным расстоянием $\Delta = 80$ км и магнитудой $M = 7,5$. Отметим, что все использованные землетрясения имеют наиболее характерные для БРЗ подвижки в очаге: сбросо-сдвиг.

Затем, полученный амплитудный спектр, приводился к грунтам I категории (плотные грунты) путем деления его на частотную характеристику грунтов верхней зоны разреза под сейсмической станцией «Иркутск». Частотная кривая была найдена расчетным методом тонкослоистых сред, опирающимся на построение скоростных моделей верхней зоны разреза [Ратникова, 1984].

В качестве фазового взят спектр записи ускорений наиболее сильного и относительно близкого за последнее десятилетие землетрясения – Култукского (Главный Саянский разлом), имеющего $M_w = 6,3$ и $\Delta = 77$ км. Отметим, что десятью годами ранее, недалеко от него произошло сравнимое с ним по мощности Южно-Байкальское землетрясение 1999 г. ($M = 5,9$, Ангарский разлом).

Завершающим шагом нахождения моделируемой акселерограммы является синтез полученного среднего амплитудного спектра с фазовым спектром с помощью обратного преобразования Фурье. В результате проведенных расчетов, получена акселерограмма (рис. 3.1), соответствующая частотной характеристике, использованной для приведения амплитудного спектра к грунтам I категории.

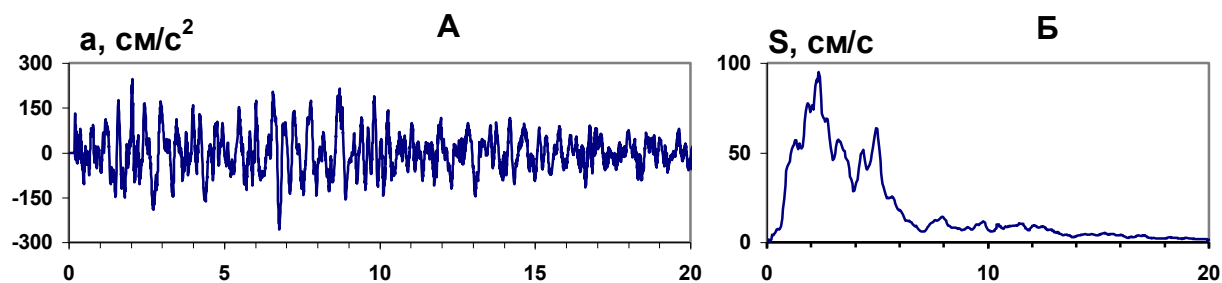


Рис. 3.1. Исходная акселерограмма (А) и ее амплитудный спектр (Б) для твердых грунтов территории г. Иркутска.

На этом же рисунке приведены сглаженные амплитудные спектры этих акселерограмм с разрешающей способностью 0,5 Гц и стандартной ошибкой $\varepsilon = 0,25$.

Параметры расчетной акселерограммы согласно шкале балльности соответствуют эталонному сейсмическому воздействию для скальных пород района г. Иркутска, равному 8 баллам (карта ОСР-97-В). Спектр ускорений имеет уровень, превышающий значение 0,7 от максимального, в интервале частот 1,5–5,2 Гц. Основной максимум приходится на частоту, близкую к 2 Гц, и спектральная плотность достигает значения 95 см/с – для максимальной горизонтальной компоненты.

В работе затронуты вопросы задания исходного сигнала. Однако, известно, что конечной целью количественной оценки сейсмической опасности для территорий городов Монголии и Сибири является предсказание воздействия вероятного сильного землетрясения на грунтовые слои, служащие основаниями сооружений с определенной вероятностью. Однако уже на данном этапе исследований возможна типизация инженерно-сейсмологических моделей и расчет для них вероятных сейсмических воздействий в форме акселерограмм с соответствующими периодами, длительностью колебаний и другими характеристиками, учитывающими параметры зон ВОЗ и которые необходимы для проектирования сейсмостойких зданий и сооружений.

3.2. Расчет акселерограмм сильных землетрясений для г. Иркутска из различных зон ВОЗ

По карте сейсмического районирования территории Российской Федерации г. Иркутск относится к 8-9 балльной зоне [Строительные нормы и правила II-7-81*, 2011]. При этом наиболее опасными в сейсмическом отношении зонами для г. Иркутска, в основном, являются внутривпадинные разломы Среднебайкальской, Южнобайкальской и Тункинской впадин, а также разломы, ограничивающие их с восточной и западной сторон. Несколько особняком стоит Главный Саянский разлом, к которому относятся наиболее сильные, в исторической перспективе, землетрясения. Последнее, наиболее полное обобщение по зонам ВОЗ, дано в работе группы авторов [Леви, Хромовских, 1996].

В таблице 3.2 приведены рассмотренные зоны ВОЗ и их основные характеристики.

Для получения оценок сейсмической опасности г. Иркутска из различных зон ВОЗ были использованы реальные записи акселерограмм землетрясений. При расчете прогнозных акселерограмм возникают трудности, связанные с тем, что выбор или расчет исходной акселерограммы заведомо не может быть однозначным, поскольку проявление землетрясения в конкретной локальной зоне, как и всякий многопараметрический отклик, определяется набором свойств, характеризующих очаг, трассу, в которой распространяется сейсмический сигнал, строение и состав грунтов в основаниях сооружений. Особые трудности создает наличие нескольких зон ВОЗ, физико-механические свойства пород в очаге, определяющих вероятность возникновения землетрясений импульсного характера или землетрясений с относительно медленным нарастанием и спадом интенсивности колебаний, зависимость проявления землетрясений на поверхности от типа подвижки в очаге. Поэтому каждую зону ВОЗ можно описать только некоторыми средними сейсмическими характеристиками: акселерограммами, велосигramмами или сейсмограммами.

В практике инженерных изысканий при антисейсмических расчетах зданий и сооружений наибольшее применение получили акселерограммы. Желательно для каждой зоны ВОЗ.

В связи с выше сказанным, стояли две основные задачи.

1) Для каждой зоны ВОЗ получить ожидаемые акселерограммы землетрясений, опирающиеся на записи акселерограмм реальных землетрясений из рассматриваемых зон.

2) Соотнести полученные максимальные ускорения зон ВОЗ со шкалой сейсмической опасности в баллах и, через последние, с картой сейсмического районирования Евразии.

Таблица 3.2

Максимальные значения ускорений расчетных акселерограмм сильных землетрясений из ближайших зон ВОЗ для г. Иркутска

	Зоны возможных очагов землетрясений (ВОЗ)	M	Δ, км	a_m, см/с²	Сейсмическая интенсивность, I, балл (MSK-64)
1	Восточно-Саянская (Главный Саянский разлом, взбросо-сдвиг)	8	74	215	8
2	Тункинская (восточная) (Тункинский разлом, сбросо-сдвиг)	7.5	120	55	6
3	Тункинская (западная) (Тункинский разлом, взбросо-сдвиг)	7	196	23	5
4	Приморская (субширотная) (Приморский разлом, сброс)	7.5	63	179	8
5	Приморская (южная) (Приморский разлом, сдвиго-сброс)	7	80	89	7
6	Южно-Байкальская (Ангаро-Байкальский разломный узел, сброс)	7.5	77	167	8
7	Селенгинская (Дельтовый разлом, сброс)	7.5	165	81	7
8	Ольхонская (Ольхонский разлом, сброс)	7.5	190	61	7

Примечание. M-магнитуда потенциального землетрясения зоны ВОЗ, Δ -эпицентральное расстояние до зоны ВОЗ, a_m -максимальные значения ускорений рассчитанных акселерограмм, I- балльность, соответствующая a_m .

Для г. Иркутска были рассмотрены практически все зоны ВОЗ.

В работе использованы записи акселерограмм землетрясений [<http://www.seisbykl.ru>] с 1999 по 2011годы, ощутимых на территории г. Иркутска с интенсивностью сотрясений 2-6 баллов по шкале MSK-64 и $M \geq 4$ в очаге. Очаги землетрясений располагались на глубине от 10 до 20км [Радзиминович, 2010]. Акселерограммы

регистрировались сейсмической станцией "Иркутск" цифровыми каналами, имеющими столбообразные частотные характеристики на уровне $0.7U_{\max}$ в диапазоне частот 0.05–10Гц. Частота дискретизации составляла $\Delta t=0.01$ с, что обеспечивало получение спектров без искажений в указанном диапазоне частот. Спектры рассчитывались по горизонтальной компоненте для участка длительностью 20 с от вступления S-волн методом БПФ. Затем спектры ускорений землетрясений, зарегистрированных сейсмостанцией "Иркутск", приводились к грунтам первой категории с параметрами $\rho=2.4$ г/см³, $V_p= 3.0$ км/с, $V_s=1.56$ км/с, путем деления на частотную характеристику верхней зоны разреза под сейсмостанцией [Дреннов, Джурик, Серебренников, Дреннова, 2010]. Всего было обработано 29 акселерограмм. Записи афтершоков для расчета спектров не использовались из-за их обеднения низкими частотами по сравнению с основным землетрясением и форшоками.

Поскольку землетрясения, относящиеся к одной зоне ВОЗ, имели разные эпицентральные расстояния и магнитуды были получены зависимости, учитывающие изменения спектров с эпицентральным расстоянием и магнитудой для рассматриваемого региона.

Наиболее простым способом определения функции затухания является представление ее в виде зависимости $r^{-n_{\phi}(f)}$, где r – эпицентральное расстояние, а показатель степени $n_{\phi}(f)$ – зависит от частоты. Для приведения спектра к нужной магнитуде M определена скорость изменения уровня спектра с магнитудой $\beta_M(f)=\Delta \lg S(f)/\Delta M$ ($S(f)$ - значение спектра на i -частоте):

$$n_{\phi}(f) = (0,94 \pm 0,09) f^{0,39}, \text{ при } 0,5 < f < 20 \text{ Гц}$$

При $M < 6,5$:

$$\begin{cases} \beta_M(f) = 0,94, \text{ при } f \leq 1 \text{ Гц} \\ \beta_M(f) = -0,37 \lg(f) + 0,94 \pm 0,03, \text{ при } f > 1 \text{ Гц} \end{cases}$$

При $M \geq 6,5$:

$$\beta_M(f) = 0,94, \text{ при } 0,5 < f < 20 \text{ Гц}$$

После приведения спектров акселерограмм к эпицентальному расстоянию и магнитуде, характерным для данной зоны ВОЗ, находились средние спектры ускорений. Эти средние спектры и принимались за основу при получении акселерограмм, характеризующих данную зону ВОЗ.

Нахождение акселерограмм сводилось к обратному преобразованию Фурье с использованием средних амплитудных спектров и фазовой характеристики одной из нескольких записей [Джурик, Дреннов, Басов, 2000; Abrahamson, 2008].

Замена фазового спектра одной акселерограммы на фазовый спектр другой влекла за собой изменение максимальной амплитуды ускорений, не превышающей, как правило, $\pm 10\%$ от среднего значения. В отдельных случаях это отклонение достигало 17%. Учитывая, что среднее значение обеспечивает уровень вероятности $P=0.5$, указанная ошибка вполне приемлема.

Следует заметить также, что использование фазовых спектров ускорений от различных землетрясений дает возможность получить акселерограммы разной длительности: от акселерограмм импульсного типа, когда выделенная энергия сосредоточена в узком временном диапазоне, до акселерограмм, временная продолжительность которых существенна. Использовались фазовые спектры акселерограмм, имеющие, в основном, среднюю продолжительность во времени.

Полученные описанным выше образом акселерограммы и их спектры для всех рассматриваемых зон ВОЗ приведены на рис. 3.2, а соответствующие им спектральные параметры в таблице 3.3.

Из таблицы 3.3 следует, что ширина спектров ускорений для всех зон ВОЗ лежит в интервале 1-8 Гц на уровне $0.5S_m$. При этом, как правило, для более близких и имеющих большую потенциальную магнитуду зон ВОЗ, спектры ускорений несколько шире, чем для более удаленных. Причем это расширение происходит за счет высоких частот.

Дополнительно было получено распределение частот, соответствующих максимуму спектра (f_{Sm}), с балльностью, показывающее какие частоты ответственны за макросейсмический эффект (таблица 3.4). Рассматривались землетрясения с эпицентрными расстояниями до 100км. Распределение показывает, что с ростом балльности значения частот f_{Sm} уменьшаются до 3.4Гц для вертикальной и 1.6Гц для горизонтальной составляющих на 8 баллах.

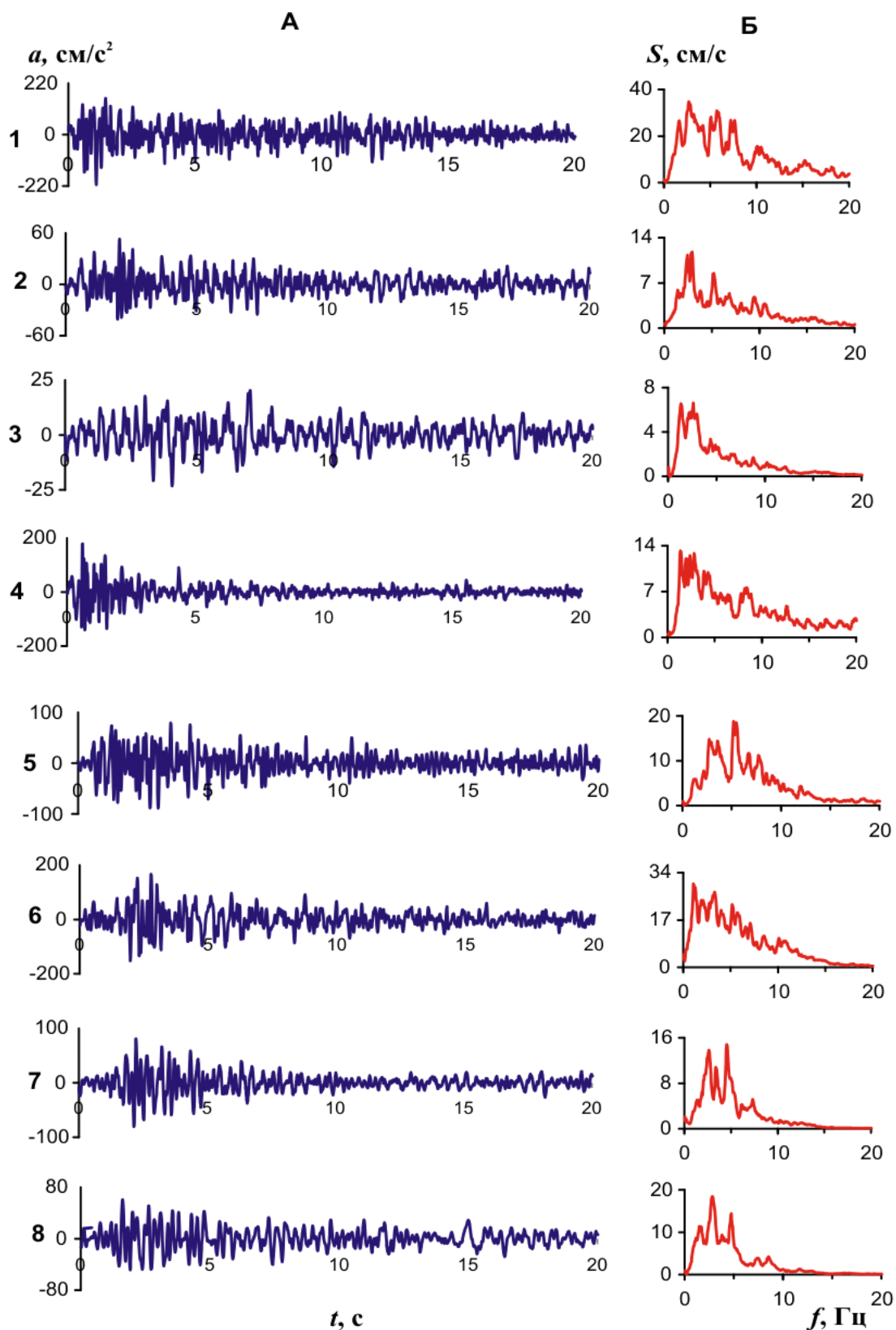


Рис. 3.2. Прогнозные акселерограммы (а) и соответствующие им спектры (б) для зон ВОЗ г. Иркутска. Цифры слева соответствуют номерам зон ВОЗ в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.3

Спектральные характеристики акселерограмм

Зоны возможных очагов землетрясений (ВОЗ)	M	Δ , км	S_m , см/с	f_{S_m} , Гц	$(f_1-f_2)_{0.7S_m}$, Гц	$\delta f_{0.7S_m}$, Гц	$(f_1-f_2)_{0.5S_m}$, Гц	$\delta f_{0.5S_m}$, Гц
1. Восточно-Саянская	8	74	35	2.8	1.7-7.7	6.0	1.2-7.8	6.6
2. Тункинская (восточная)	7.5	152	8.4	2.9	2.5-3.0	0.5	1.4-5.4	4
3. Тункинская (западная)	7	196	6.6	1.4 2.6	1.1-3.1	2	1.0-3.3	2.3
4. Приморская (субширотн.)	7.5	63	13	1.4	1.3-4.4	3.1	1.2-4.6	3.4
5. Приморская (южная)	7	100	12	5.5	3.0-5.7	2.7	2.6-8.0	5.4
6. Южно-Байкальская	7.5	77	30	1.3	1.0-5.3	4.3	0.8-7.2	6.4
7. Селенгинская	7.5	165	15	2.6 4.6	2.3-4.7	2.4	2.0-5.2	3.2
8. Ольхонская	7.5	190	18	2.8	2.6-4.8	2.2	1.4-5.0	3.6

Примечание. S_m , см/с-значение максимума спектральной плотности акселерограммы, f_{S_m} , Гц – соответствующая ему частота, $(f_1-f_2)_{0.7S_m}$, $(f_1-f_2)_{0.5S_m}$, Гц – интервалы частот спектров на уровнях 0.7 и 0.5 S_m соответственно, $\delta f_{0.7S_m}$, $\delta f_{0.5S_m}$, Гц – ширина спектра на уровнях 0.7 и 0.5 S_m соответственно.

Таблица 3.4

Средние значения частот максимумов спектров при различных макросейсмических проявлениях землетрясений для грунтовых условий сейсмостанции "Иркутск".

Баллы	2	3	4	5	6	7	8	Примечания
$f_{sm}, Гц$	8.4±0.9	8.2±1.3	4.9±1.6	4.9±0.9	4.4	(3.6)	(3.4)	Вертик. комп., в скобках – прогнозные значения
$f_{sm}, Гц$	5.7±1.6	4.7±0.9	4.0±0.9	3.5±0.9	1.8±0.4	(1.6)	(1.6)	Горизонт. комп.
$f_{sm}, Гц$		10	10	7.8	6	3.6	1.3	Эпицентральная зона, Чернов и др.[Чернов, Соколов, 1988]

В таблице 3.2 приведены оценки сейсмической опасности рассмотренных зон ВОЗ из полученных акселерограмм по a_{max} в баллах в соответствии со шкалой балльности MSK-64. Из таблицы видно, что для рассмотренных зон ВОЗ максимальная интенсивность при землетрясениях для грунтов 1 категории на территории г. Иркутска проявляется от 5 до 8 баллов.

Таким образом, исходя из выше изложенного, можно заключить следующее.

1. По имеющимся экспериментальным записям ускорений рассчитаны средние амплитудные спектры, которые приведены к потенциально возможным магнитудам конкретно рассмотренных зон ВОЗ.
2. По полученным амплитудным спектрам и фазовым спектрам реальных землетрясений путем обратного преобразования Фурье рассчитаны ожидаемые акселерограммы соответствующих зон ВОЗ.
3. Изменение фазового спектра влечет за собой не только изменение колебательного процесса, но и огибающей ожидаемой акселерограммы, что позволяет рассчитать последние как для землетрясений импульсного характера, так и для землетрясений с относительно плавным нарастанием и снижением интенсивности колебаний
4. Значения максимальных ускорений акселерограмм сопоставлены с баллами по шкале MSK-64.

Для дальнейшего использования акселерограмм при теоретических расчетах характеристик среды различных грунтовых моделей, акселерограммы отнесены к грунтам 1-ой категории.

3.3. Методика формирования исходного сейсмического сигнала с целью районирования сейсмической опасности городских агломераций

В 2007 году была разработана концепция агломерации, позволяющая объединить гг. Иркутск, Ангарск и Шелехов в один город-миллионник. Были также предложения включить в агломерацию гг. Усолье-Сибирское и Черемхово. Концепция явилась результатом начавшегося в 50-60-е годы прошлого века формирования тесных связей между Иркутском и вышеназванными городами-спутниками. В настоящее время вопрос об иркутской агломерации рассматривает Центральный научно-исследовательский и проектный институт по градостроительству Российской академии архитектуры и строительных наук.

Естественно, что на территории созданной агломерации будут увеличены объемы строительства промышленных и гражданских объектов, новых скоростных железных и автомобильных дорог. Планируется также строительство аэропорта и других объектов инфраструктуры. Однако, для проведения обоснованного планирования строительства, необходимо изучить сейсмичность этой территории и провести районирование ее сейсмической опасности с различной степенью детальности, согласно требованиям существующих нормативных документов. Они свидетельствуют о том, что сейсмическую опасность необходимо оценивать по максимальным ускорениям колебаний, преобладающим периодам сильных землетрясений, резонансным частотам рыхлой толщи и другим параметрам сейсмических воздействий. Таким образом, результатом исследований для территории городской агломерации являются количественные оценки движения грунта и, в первую очередь, задание сейсмических сигналов, отвечающих по своим параметрам исходной сейсмичности исследуемой территории.

Сейсмичность и сеймотектоника района исследований. Иркутск расположен в пределах юго-западной части активизированной окраины Сибирской платформы, где основным разрывным нарушением, обуславливающим высокий сейсмический потенциал территории, является Главный Саянский разлом (рис. 3.3). Разлом (взбросо-сдвиг) имеет общую протяженность до 900 км (кайнозой), 220 км которого имеют следы современного обновления. Ширина зоны разлома достигает 10 км. В пределах активной части разлома выявлены палеосейсмогенные структуры с возможной магнитудой (M) сейсмических событий до 8,0. Главный Саянский разлом является основой Восточно-Саянской зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) с магнитудой $M = 8,0$ [Карта разломов..., 1988; Чипизубов, Палеосейсмодислокации..., 1999].

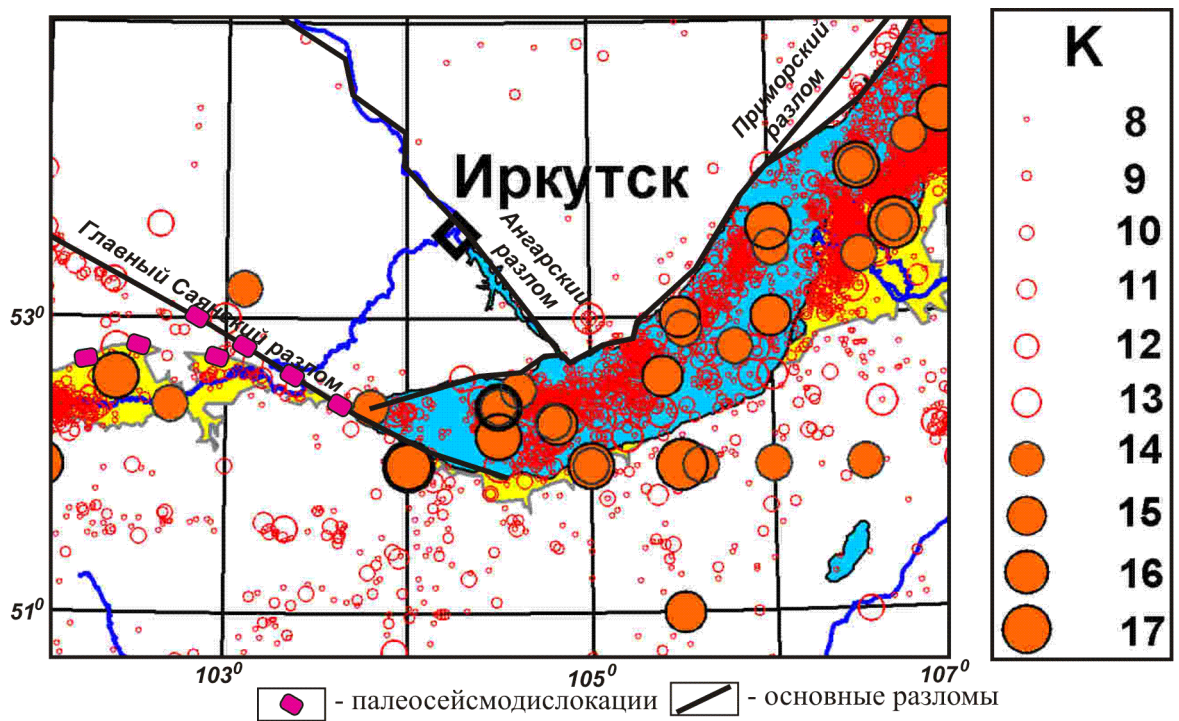


Рис. 3.3. Карта эпицентров землетрясений, схема разломов и палеосейсмодислокаций района г. Иркутска (K – энергетический класс)

Другим наиболее крупным в регионе разрывным нарушением является Приморский разлом. При ширине в 10 км разлом протягивается вдоль западного побережья оз. Байкал на 400 км. Высокую сейсмическую активность разлома в недавнем прошлом подтверждают присутствующие здесь палеосейсмогенные структуры. Приморскому разлому соответствует одноименная зона ВОЗ с возможной магнитудой M до 7,5 [Леви и др., Современная геодинамика..., 1996].

Непосредственно пересекает территорию города Иркутска Ангарский разлом (см. рис. 3.3), он протягивается от оз. Байкал вдоль долины р. Ангары на расстояние более 150 км при ширине зоны разрыва до 15 м. Разлом представляет собой зоны повышенной трещиноватости в плейстоцен-голоценовых отложениях песчано-глинистого и песчано-галечного состава, направление зон – северо-западное.

Историю развития сейсмического процесса территории можно проследить на материалах сети сеймостанций лишь за последние десятилетия. Исторические данные о сильных землетрясениях в недалеком прошлом наиболее полно представлены в работах [Голенецкий, Землетрясения..., 1997]. Первые исторические сведения о сильных землетрясениях Восточно-Сибирского региона датируются концом XVII и началом XVIII веков. Как правило, эти данные отрывисты и содержат мало информации.

Наиболее сильным сейсмическим событием для г. Иркутска является серия землетрясений 1829 года, при которых были повреждены или разрушены многие здания, и

в грунтовых основаниях зданий образовались трещины. Эпицентр самого сильного из этой серии землетрясения предположительно расположен на северном склоне хр. Хамар-Дабан. Цаганское землетрясение (12 января 1862 г.) является одним из сильнейших землетрясений Восточной Сибири и наиболее детально описано современниками, его афтершоки вызвали значительные разрушения: во всех каменных зданиях образовались трещины, иногда зияющие. Непрерывные колебания почвы ощущались на протяжении 32 мин [Новый каталог..., 1977].

Сильные землетрясения 1905 года с интенсивностью в 11–12 баллов в эпицентре находились на удалении более 500 км от г. Иркутска. Транзитные сейсмические сотрясения достигали 6–7 баллов: трещины в каменных зданиях, падение тяжелых предметов, паника среди населения. В настоящее время имеются сведения для г. Иркутска о 12 сильных землетрясениях [Голенецкий, Землетрясения..., 1997], макросейсмические эффекты от которых в пределах города оценивались в 6–7 баллов.

Современный уровень сейсмичности представлен на карте эпицентров землетрясений территории вокруг г. Иркутска (радиус 100–150 км). На карте эпицентров отображены сейсмические события, зарегистрированные сетью сейсмических станций с 1962 года, и землетрясения более раннего периода [Новый каталог..., 1977], начиная с 8 энергетического класса K (см. рис. 3.3).

Другой формой отображения сейсмического процесса за регистрируемый период является плотность эпицентров землетрясений. Из карты плотности эпицентров землетрясений территории (рис. 3.4) видно, что ближние сейсмически активные зоны расположены на юге и на востоке от города. Основные области возникновения землетрясений приурочены к акватории южной и средней частей оз. Байкал. Именно из этих зон постоянно регистрируются макросейсмические эффекты от умеренных и слабых землетрясений, которые оцениваются в 3–4 балла на территории, прилегающей к Иркутску. Наиболее сильный макросейсмический эффект (5 баллов) отмечен при Среднебайкальском землетрясении (29 августа 1959 г., $M = 6,8$).

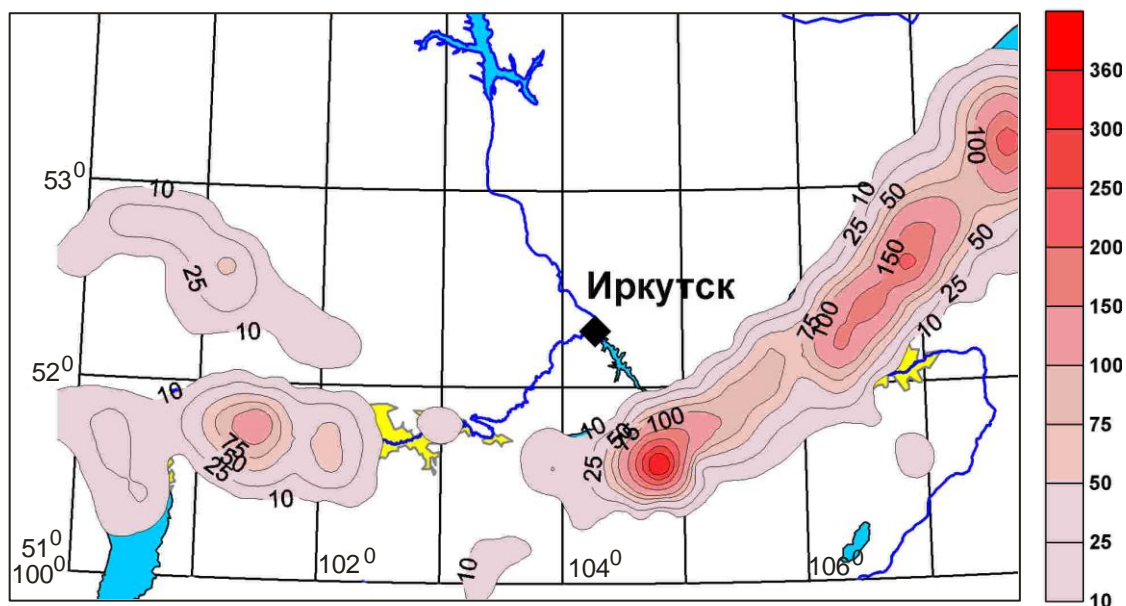


Рис. 3.4. Карта плотности эпицентров землетрясений района г. Иркутска

Уровень сейсмической опасности территории в большей степени определяется расположением зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) с возможным проявлением сейсмичности магнитудой 6–7 и более. Основными в пределах исследуемой площади являются Приморская зона (южная ($M = 7$) и субширотная ($M = 7,5$)), приуроченная к Приморской системе тектонических нарушений, а также Восточно-Саянская (Главный Саянский разлом, $M = 8$) [Чипизубов, Палеосейсмодислокации..., 1999]. Вместе эти две зоны формируют уровень сейсмической опасности как исследуемой территории, так и региона в целом.

Для Прибайкалья полученные по макросейсмическим и расчетным данным размеры изосейсмальных площадей сотрясений в 9 баллов представлены следующими значениями. Для зон ВОЗ с $M > 8,0$ длина изосейсмальной зоны составляет 500 км, ширина – 90 км; для зон ВОЗ с $M = 7,5 \div 8,0$ изосейсмальная зона – 80 км; для зон ВОЗ с $M = 7,0 \div 7,5$ изосейсмальная зона – 50 км. Сейсмические сотрясения в 8 баллов возможны на удалении 600 км (длина изосейсмальной зоны) и 160 км (ширина) от зоны ВОЗ с $M > 8,0$, для зоны с $M = 7,5 \div 8,0$ – 300 км и 100 км и для зоны с $M = 7,0 \div 7,5$ – 140 км и 70 км. Анализ макросейсмических данных о сейсмических событиях в пределах рассматриваемой площади (исторический и инструментальный периоды) и расчетные данные о возможном транзитном сейсмическом сотрясении из расположенных на исследуемой площади зон ВОЗ можно сделать выводы: территория города находится в зоне сейсмических сотрясений интенсивностью 8–9 баллов.

Карты общего сейсмического районирования ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С [Карта общего сейсмического районирования..., 1999] позволяют оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности на трех уровнях вероятности – 90%, 95% и 99% не превышения (или 10%, 5% и 1% возможного превышения) в течение 50 лет расчетной сейсмической интенсивности сотрясений в баллах, указанных на каждой из этих карт для средних грунтовых условий регионов. При этом карта ОСР-97-А соответствует 500-летнему, карта ОСР-97-В – 1000-летнему, а карта ОСР-97-С – 5000-летнему периоду повторяемости таких сотрясений. Согласно картам ОСР-97 (А, В и С) [Карта общего сейсмического районирования..., 1999] сейсмическая опасность территории оценивается в 8, 9 и 10 баллов (рис. 3.5), что говорит о необходимости более детального изучения этого района. Подтверждает это положение карта эпицентров землетрясений, показывающая, что основные землетрясения приурочены к Главному Саянскому, Ангарскому и Приморскому разломам [Джурик В.И., К районированию..., 2011].

На рисунке 3.6 приведена схема зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) в районе Иркутска. В этих зонах могут происходить землетрясения с максимальной магнитудой M_{max} от 5,5 до 8. Необходимо отметить, что последнее, наиболее полное обобщение по зонам ВОЗ, дано в работе группы авторов [Леви, Современная геодинамика..., 1996].

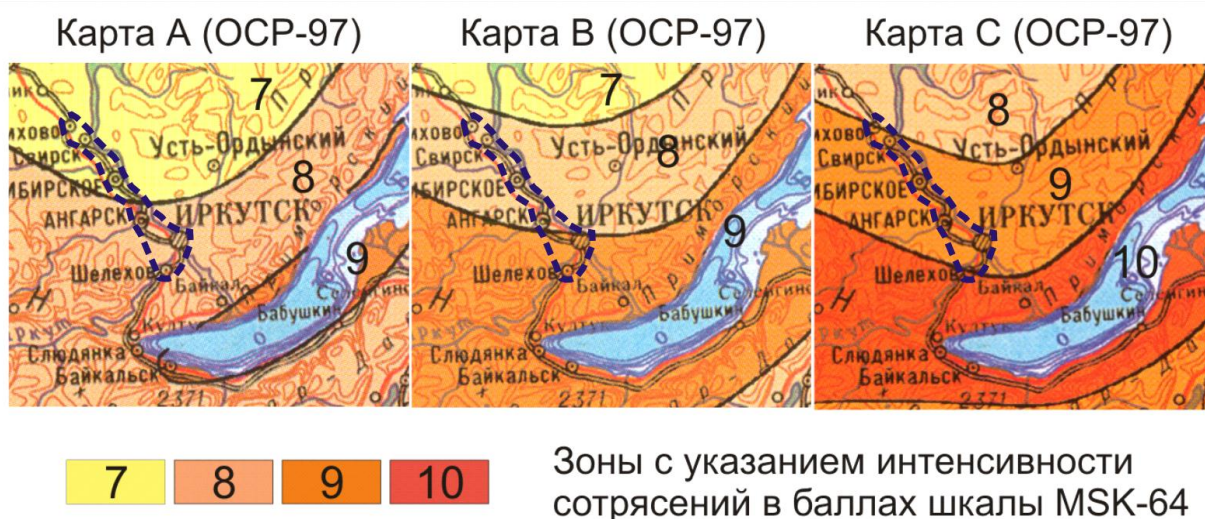


Рис. 3.5. Фрагмент карты общего сейсмического районирования ОСР-97 с условными границами иркутской агломерации.

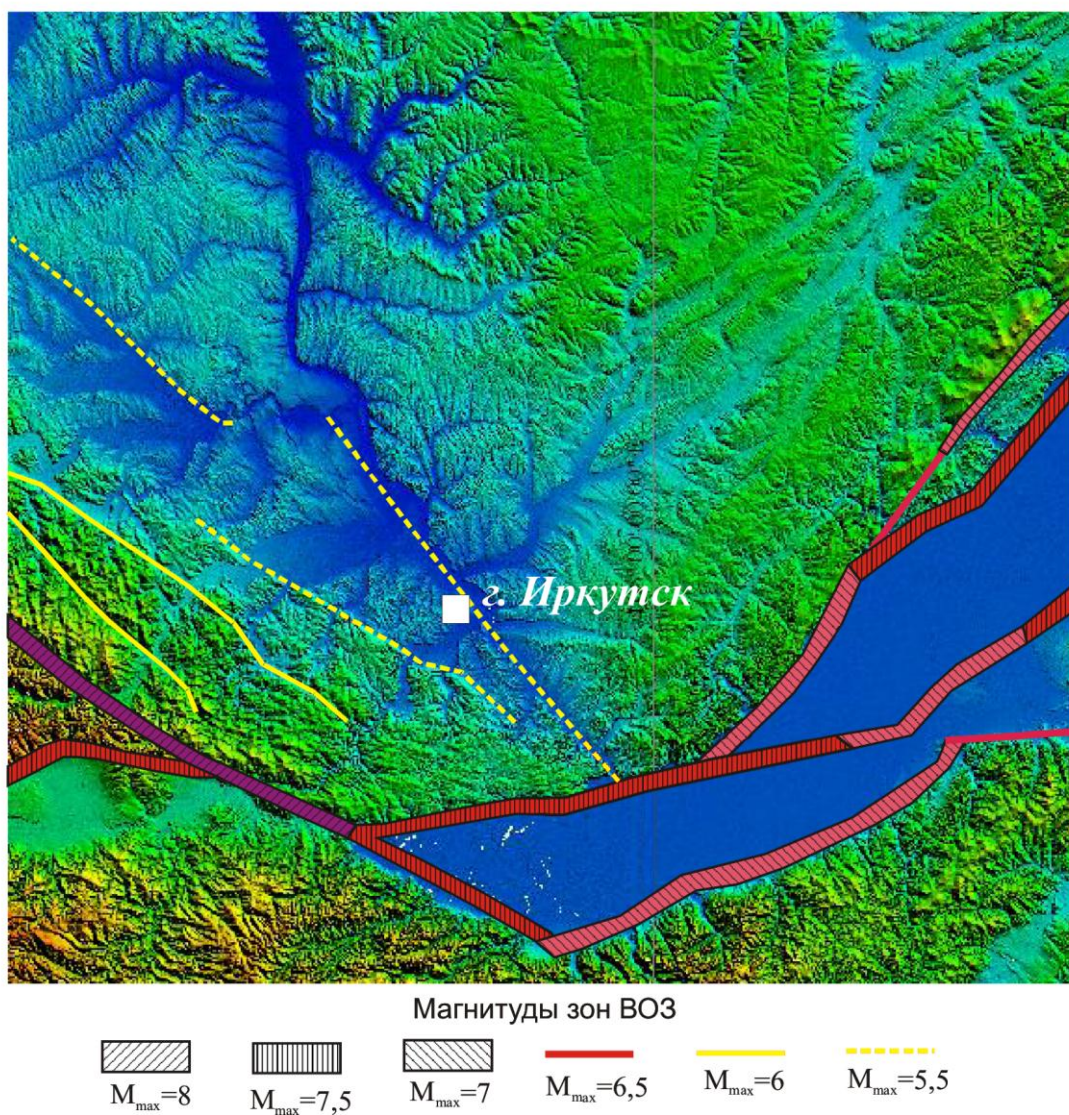


Рис. 3.6. Зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) в районе г. Иркутска [Леви, Современная геодинамика..., 1996].

Методика и результаты формирования исходного сейсмического сигнала и теоретические расчеты для типовых сейсмогрунтовых моделей. Для территории г. Иркутска и для всей агломерации необходимо создание одного исходного сигнала [Vooge, 2008; Atkinson, 1990; РБ-006-98, 1988; Рекомендации..., 1985; Методические рекомендации..., 2004], но с тем условием, что бы он учитывал особенности спектрального состава колебаний из каждой выбранной зоны ВОЗ. Для этого спектры колебаний (рис. 3.2) были нормированы, затем они усреднялись, рассчитывалась фазовая характеристика одной из записей землетрясений и, обратным преобразованием Фурье, проводился расчет нормированной акселерограммы (рис. 3.7, А). Амплитудный спектр (см. рис. 3.7, Б) этого сигнала, в свою очередь, отражает все частотные особенности акселерограмм, которые спрогнозированы для отдельных зон ВОЗ. Его уровень, превышающий значение 0,7 от максимального ($0,7S_{max}$), лежит в интервале частот 0,97-5,22 Гц. Основной максимум приходится на частоту 2,88 Гц, спектральная плотность достигает значения 0,165 см/с.

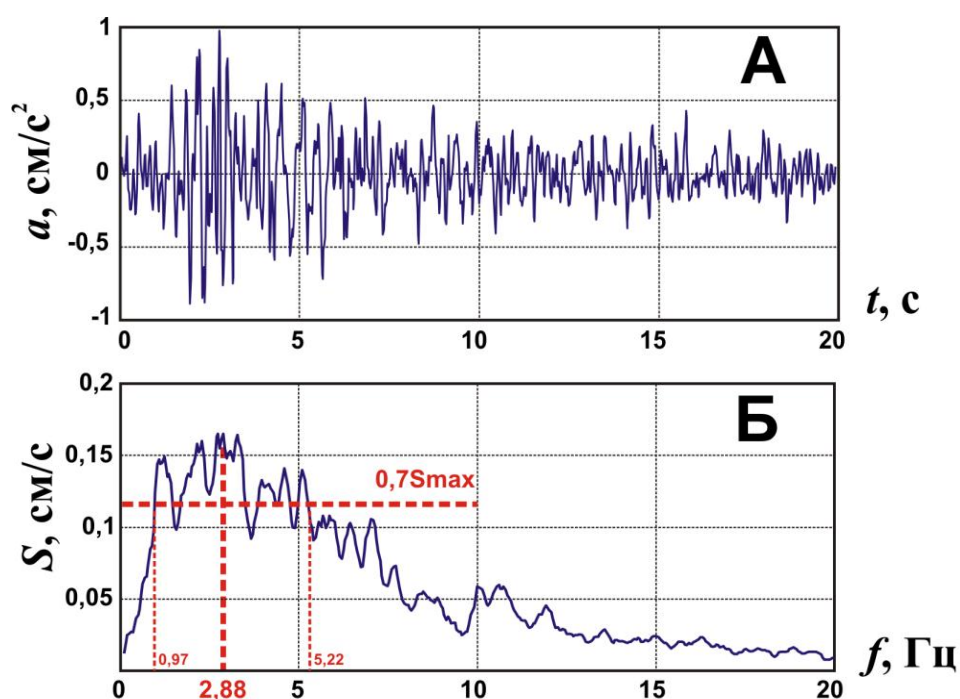


Рис. 3.7. Исходная нормированная акселерограмма (А) и ее амплитудный спектр (Б).

Для того чтобы использовать исходный сейсмический сигнал в дальнейших теоретических расчетах для различных грунтовых условий, необходимо привести его к эталонному грунту. На рисунке 3.8 приводятся гистограммы распределения скоростей продольных волн и объемной массы в скальных и полускальных породах для территории г. Иркутска. Это распределение дает наиболее вероятные параметры, которые

используются при составлении сейсмогрунтовых моделей для типовых грунтовых условий. В табл. 3.5 представлены параметры таких моделей: модель коренных пород, а также модели для неводонасыщенных и водонасыщенных грунтов. Отметим, что составленные модели опираются и на другие инженерно-геологические и геофизические данные [Джурик, К районированию..., 2011].

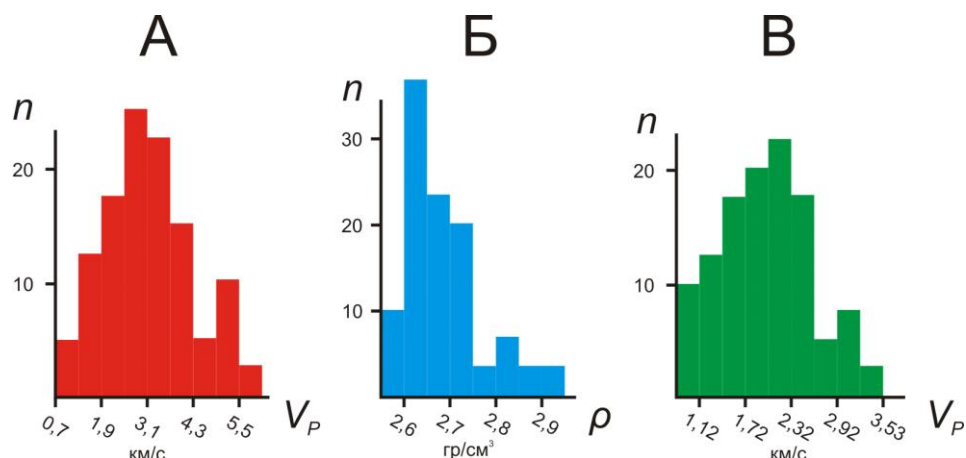


Рис. 3.8. Гистограммы распределения: А – скоростей продольных волн в скальных породах, Б – объемной массы в скальных породах, В – скоростей ультразвука в образцах полускальных пород.

Таблица 3.5

Параметры расчетных сейсмических моделей для обобщенных типовых разрезов и результаты расчетов.

№ модели	h (м)	Vp (м/с)	Vs (м/с)	ρ (т/м ³)	h (м)	Vp (м/с)	Vs (м/с)	ρ (т/м ³)	h (м)	Vp (м/с)	Vs (м/с)	ρ (т/м ³)
	Модели эталона				Модели для неводонасыщенного состояния грунтов				Модели для водонасыщенного состояния грунтов			
М-1	10	2300	1260	2,5	10	600	300	1,9	10	1600	400	1,9
	∞	2800	1540	2,6	10	2200	1200	2,5	10	2200	1200	2,5
					10	2600	1450	2,6	10	2600	1450	2,6
					∞	3000	1760	2,7	∞	3000	1760	2,7
М-2	3	600	240	1,8	20	600	300	2,0	20	1600	400	1,9
	7	700	350	1,9	10	2200	1200	2,5	10	2200	1200	2,5
	12	2300	1260	2,5	10	2600	1450	2,6	10	2600	1450	2,6
		2800	1540	2,6	∞	3000	1760	2,7	∞	3000	1760	2,7
М-3	10	1600	420	2,0	40	600	300	2,0	40	1600	400	1,9
	12	2300	1260	2,5	10	2200	1200	2,5	10	2200	1200	2,5
	∞	2800	1540	2,6	10	2600	1450	2,6	10	2600	1450	2,6
					∞	3000	1760	2,7	∞	3000	1760	2,7
М-4					80	600	300	2,0	80	1600	400	1,9
					10	2200	1200	2,5	10	2200	1200	2,5
					10	2600	1450	2,6	10	2600	1450	2,6
					∞	3000	1760	2,7	∞	3000	1760	2,7

Примечание. h – мощность слоя; Vp – скорости продольных волн; Vs – скорости поперечных волн; ρ – плотность.

При дальнейших теоретических расчетах был использован набор известных методов и программ [Джурик, К районированию..., 2011; Джурик, Методика районирования..., 2012; Basu, 2012; Dzhurik, 2004].

Модель эталона М-1 (см. табл. 3.5, рис. 3.9) характеризует коренные породы для 8-балльной зоны. Расчетные ускорения соответствуют сейсмической опасности на один балл меньшей, чем для средних грунтов. Максимальное ускорение составляет 110 см/с^2 и 50 см/с^2 для горизонтальной и вертикальной компоненты соответственно. Спектр ускорений имеет максимум на уровне 0,7 в интервале частот 0,97-5,22 Гц как для горизонтальной, так и для вертикальной компоненты.

Для модели эталона М-2 (см. табл. 3.5, рис. 3.9), представленной неводонасыщенными средними грунтами, максимальное ускорение может достигать для горизонтальной компоненты 213 см/с^2 , а для вертикальной – 76 см/с^2 . Это соответствует исходной сейсмической опасности, равной 8 баллов. Резонансная частота равна 8,79 Гц, а основной максимум спектра приходится на частоту 2,88 Гц. Спектральная плотность составляет 18,5 и 8,5 Гц. Интервалы частот, на котором спектр ускорений превышает уровень 0,7 от максимального значения, для горизонтальной и вертикальной компонент различаются незначительно: 1,03-7,23 Гц и 0,97-7,08 Гц.

Модель эталона М-3 (см. табл. 3.5, рис. 3.9), представленная средними водонасыщенными грунтами, характеризуется максимальными ускорениями 391 см/с^2 – для горизонтальной и 143 см/с^2 – для вертикальной компоненты. Полученные ускорения указывают на сейсмическую опасность 9 баллов, на один балл большую, чем исходная для средних неводонасыщенных грунтов. Для данной модели резонансная частота составляет 10,05 Гц. Спектральная плотность достигает своего максимума на частотах 3,27 и 2,88 Гц и равна для горизонтальной компоненты $58,5 \text{ см/с}$, а для вертикальной – $24,9 \text{ см/с}$. Частоты, на которых спектр ускорений имеет максимум на уровне 0,7, лежат в интервалах 0,97-7,13 Гц и 0,97-5,22 Гц для горизонтальной и вертикальной компоненты соответственно.

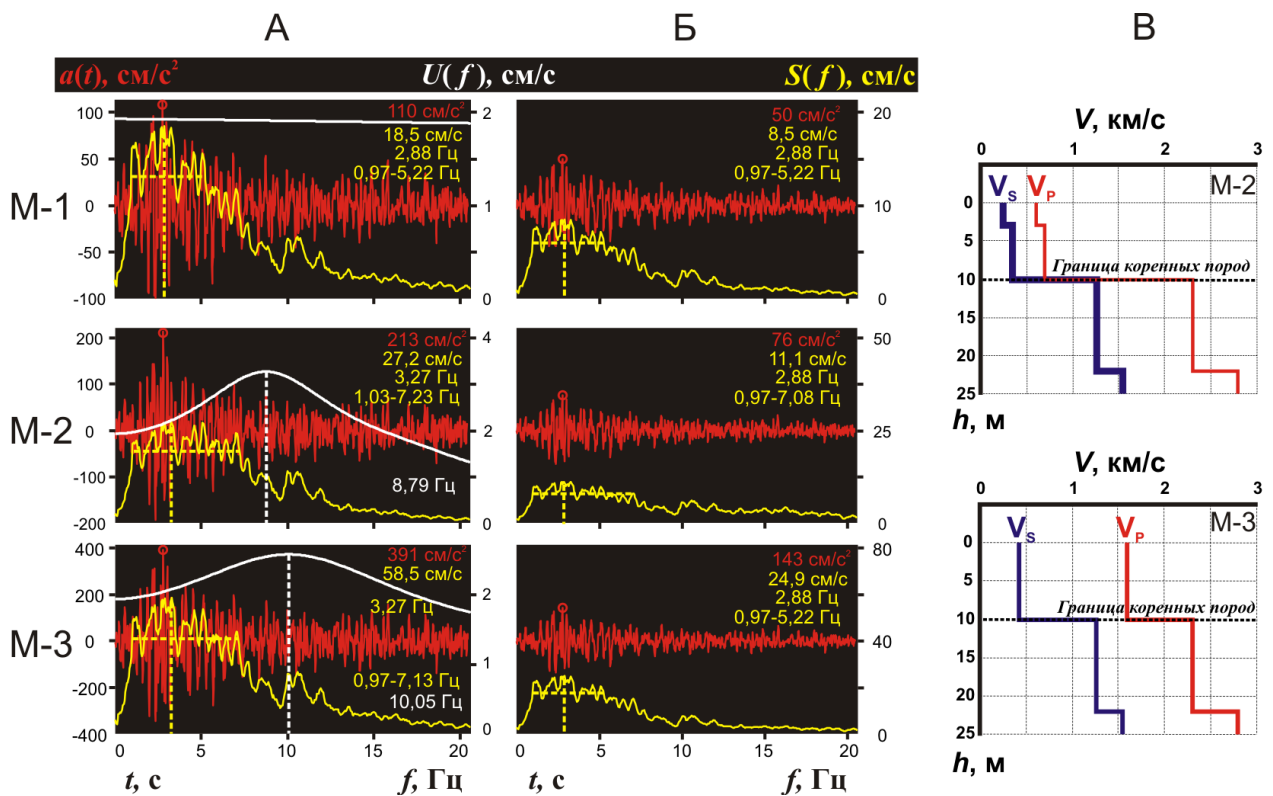


Рис. 3.9. Результаты теоретических расчетов для моделей эталона. Акселерограммы, спектры и частотные характеристики: А – для горизонтальной, Б – для вертикальной компоненты. На графиках сверху вниз обозначены максимальное ускорение, максимальное значение спектра, частота основного максимума спектра, диапазон частот на уровне $0,7S_{\max}$, резонансная частота рыхлой толщи. В – параметры моделей М-2 и М-3.

Модели эталона М-2 и М-3 соответствуют 8-балльной интенсивности. Но, используя их, можно оценить сейсмические воздействия и для 9-балльной зоны. Для этого ускорения масштабируются в соответствии с эталонными моделями М-2 и М-3 для водонасыщенных и неводонасыщенных грунтов (см. табл. 3.5, рис. 3.9) и с учетом их частотных характеристик [Джурик, К районированию..., 2011; Расчетные методы..., 1988; Пузырев, 1999].

Далее были построены модели (см. табл. 3.5, рис. 3.10 и 3.11), соответствующие различной мощности неводонасыщенных и водонасыщенных грунтов, которая увеличивается с 10 до 80 м. Подстилаются они породами с «эталонными» значениями скоростей.

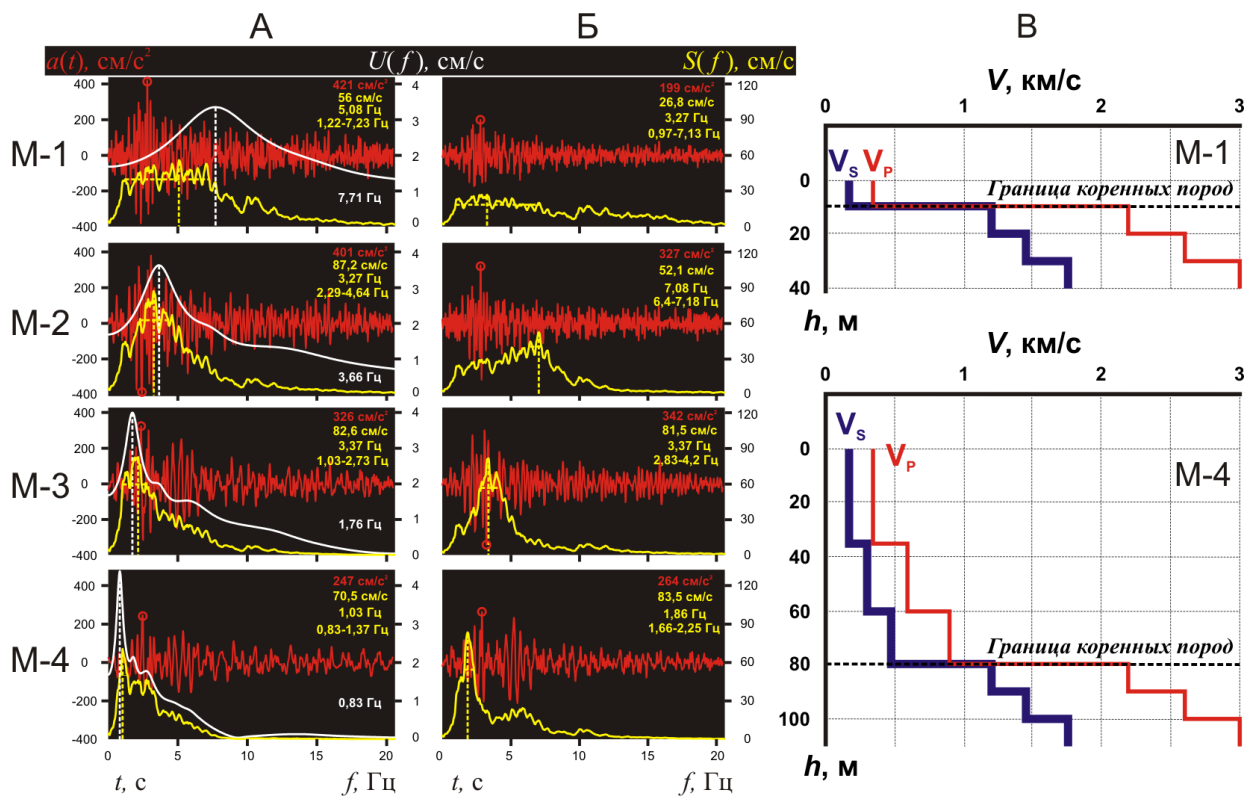


Рис. 3.10. Результаты теоретических расчетов для неводонасыщенного состояния грунтов.

Обозначения те же, что и на рис. 3.9.

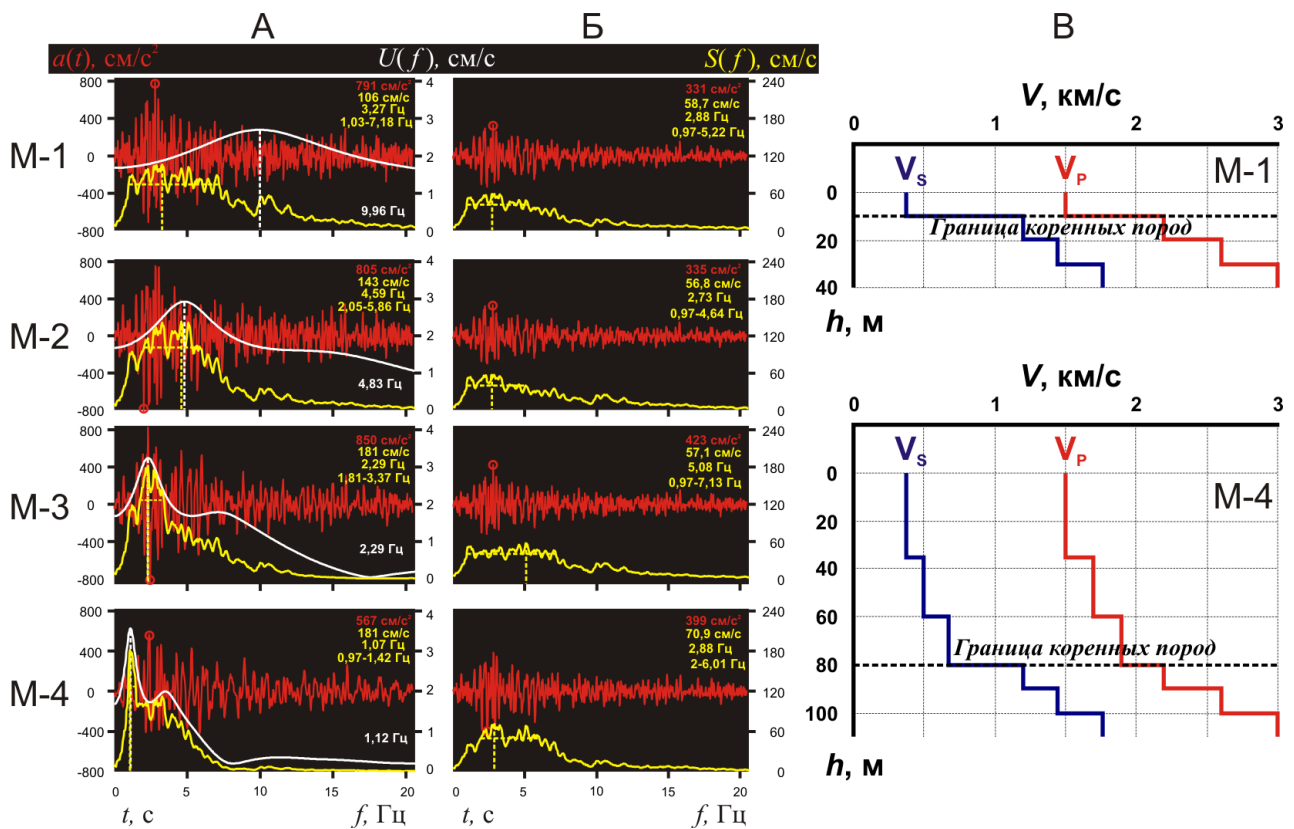


Рис. 3.11. Теоретические расчеты для водонасыщенного состояния грунтов. Обозначения

те же, что и на рис. 3.9.

Резонансная частота для моделей, представляющих неводонасыщенные грунты (см. табл. 3.5, рис. 3.10), закономерно снижается с увеличением мощности рыхлой толщи с 7,71 до 0,83 Гц. Для водонасыщенных грунтов (см. табл. 3.5, рис. 3.11) уменьшение резонансной частоты не столь значительно (с 9,96 до 1,12 Гц), что связано с большей скоростью сейсмических волн по сравнению с неводонасыщенными.

Максимальные ускорения для неводонасыщенного состояния грунтов (см. табл. 3.5, рис. 3.10) снижаются с 421 до 247 см/с², а для водонасыщенного (см. табл. 3.5, рис. 3.11) вначале увеличиваются с 791 до 850 см/с² за счет резонансных явления, а затем уменьшаются до 567 см/с², в этом случае в связи с большой мощностью рыхлой грунтовой толщи на первый план выходит поглощение.

Максимальное ускорение для модели М-1 (неводонасыщенные грунты, см. табл. 3.5, рис. 3.10) соответствует 9-балльному сейсмическому воздействию, а соответственно и 9-балльной исходной сейсмичности. Модели М-2, М-3, М-4 характеризуют сейсмические воздействия в этой зоне в зависимости от мощности неводонасыщенных грунтовых слоев. Максимальное ускорение для модели М-1 (водонасыщенное состояние, см. табл. 3.5, рис. 3.11) характеризует 10-балльное сейсмическое воздействие, что соответствует 9-балльной исходной сейсмичности. Таким образом, модели М-2, М-3 и М-4 позволяют в первом приближении оценить сейсмические воздействия в 9-балльной зоне для водонасыщенных грунтов и их изменения в связи с вариациями мощности грунтовой толщи.

Все параметры сейсмических воздействий отражены на рисунках 3.10 и 3.11 (см. обозначения на рис. 3.9). Они могут использоваться при планировании строительства различных объектов на территории иркутской агломерации.

В приведенной методике были использованы основные параметры сильных движений грунта в Байкальской рифтовой зоне за последние десять лет. Сформированный исходный сейсмический сигнал учитывает основные параметры зон ВОЗ и полученные ранее эмпирические зависимости основных динамических характеристик ускорений грунта от магнитуды и расстояния, которые позволяют прогнозировать записи акселерограмм для различных эпицентральных расстояний и магнитуд. Таким образом, он является наиболее обоснованным для территории г. Иркутска и иркутской агломерации.

Показана возможность использования полученного исходного сигнала и проведены теоретические расчеты для сейсмогрунтовых моделей, характеризующих вероятностные модели эталона для коренных пород (грунтов 1-й категории), средних грунтов (2-й категории) и водонасыщенных грунтов. Получены оценки сейсмических воздействий для зоны с исходной сейсмичностью 8 баллов, и используя модели эталона, для 9-балльной зоны с различной по мощности грунтовой толщиной водонасыщенных и неводонасыщенных

грунтов. Безусловно, что полученные результаты могут уточняться в дальнейшем, но уже сейчас их можно использовать при планировании возможного строительства на территории иркутской агломерации.

3.4. Пример использования методики формирования исходного сейсмического сигнала при комплексной оценке сейсмической опасности участка строительства аэропорта «Горячинск»

Сейсмичность, сеймотектоника и инженерно-геологические условия района исследований. Участок строительства находится в Прибайкальском районе Республики Бурятия, в нескольких километрах от села Горячинск. Исследуемая территория расположена в пределах Байкальской области интенсивного горообразования и характеризуется высоким уровнем сейсмической опасности.

Из разрывных нарушений, представленных на рисунке 3.12, основными, ответственными за высокий сейсмический потенциал территории, являются Морской и Ольхонский разломы. Они характеризуются большой протяженностью (около 180 км каждый), сбросовыми механизмами очага, высокой сейсмической активностью и являются основой одноименных зон ВОЗ с возможной магнитудой до 7,5. [Карта новейшей тектоники..., 1981; Карта общего сейсмического районирования..., 1999; Карта разломов..., 1988; Леви, Современная геодинамика..., 1996].

Карта эпицентров землетрясений территории вокруг площадки строительства (радиус 100-150 км) представлена сейсмическими событиями с 8 энергетического класса (рис. 3.12). На карте представлены сейсмические события, зарегистрированные сетью сейсмических станций с 1962 года, и землетрясения более раннего периода [Новый каталог..., 1977].

Анализ макросейсмических данных о сейсмических событиях в пределах рассматриваемой площади (исторический и инструментальный периоды) и расчетные данные о возможном транзитном сейсмическом сотрясении из расположенных на исследуемой площади зон ВОЗ позволяют сделать вывод: площадка предполагаемого строительства находится в зоне интенсивности сотрясений в 9 баллов.

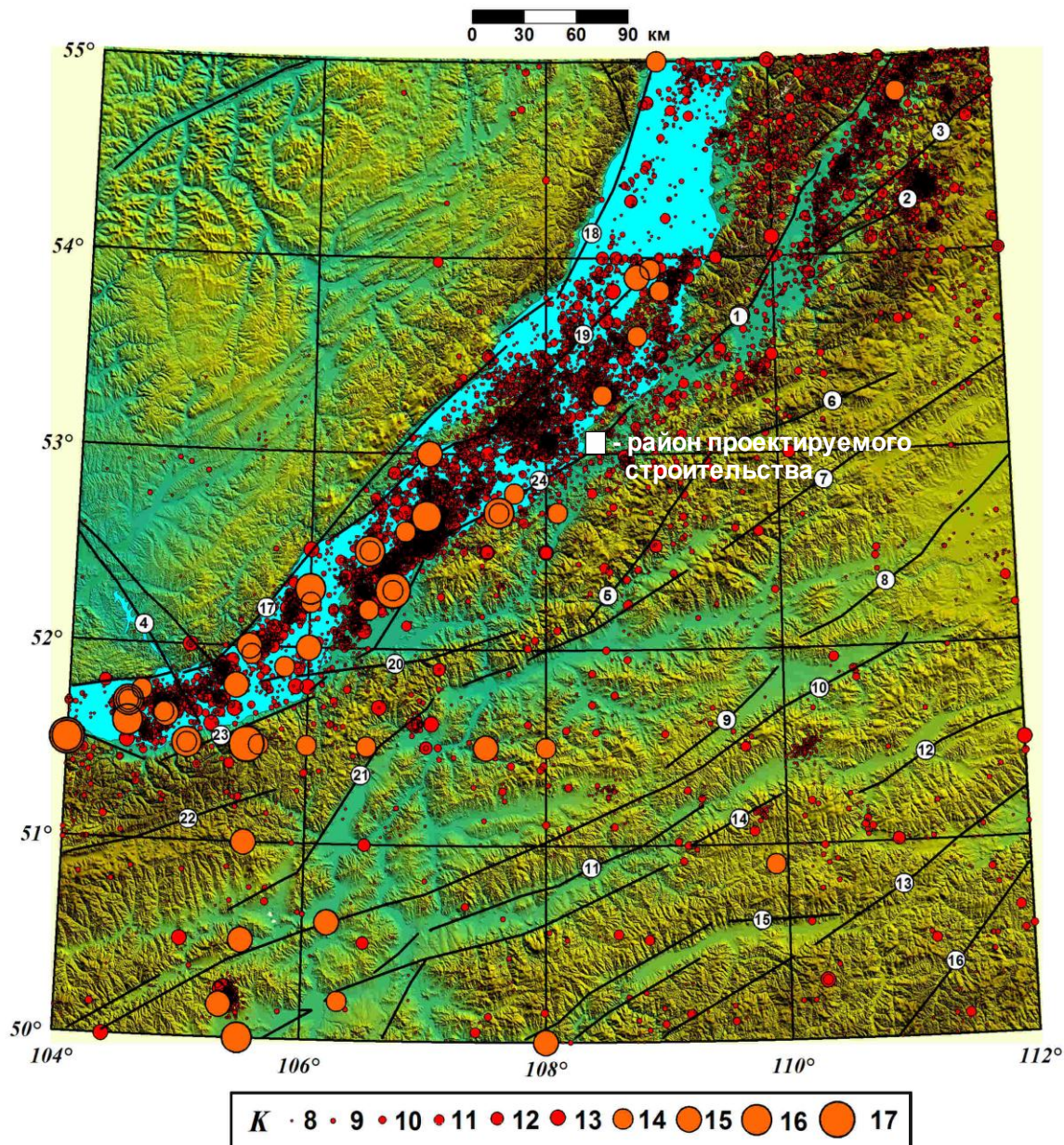


Рис. 3.12. Карта эпицентров землетрясений и разломов.

Тектонические нарушения (разломы): Баргузинский (1), Улан-Бургинский(2), Гаргинский(3), Ангарский(4), Хаимский(5), Туркинский(6), Удинский(7), Еравнинский(8), Тугнуйский (9), Кижингский (10), Хилокский(11), Арахлейский(12), Лево-Ингодинский (13), Селенга-Хилокский(14), Право-Чикойский(15), Чикой-Ингодинский(16), Приморский(17), Северо-Байкальский(18), Ольхонский (19), Селенгинский(20), Хамбинский(21), Темникский(22), Черского-Дельтовый(23), Морской (24).

Согласно проведенным исследованиям и нормативным документам [Строительные нормы и правила II-7-81*, 2011] исходная сейсмичность территории оценивается по картам общего сейсмического районирования ОСР-97 [Карта общего

сейсмического районирования... , 1999] А – в 8 баллов (рис. 3.13), по карте В – в 9 баллов и по карте С – в 10 баллов. Карты общего сейсмического районирования ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С позволяют оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности на трех уровнях вероятности – 90%, 95% и 99% не превышения (или 10%, 5% и 1% возможного превышения) в течение 50 лет расчетной сейсмической интенсивности сотрясений в баллах, указанных на каждой из этих карт для средних грунтовых условий регионов. При этом карта ОСР-97-А соответствует 500-летнему, карта ОСР-97-В – 1000-летнему, а карта ОСР-97-С – 5000-летнему периоду повторяемости таких сотрясений.

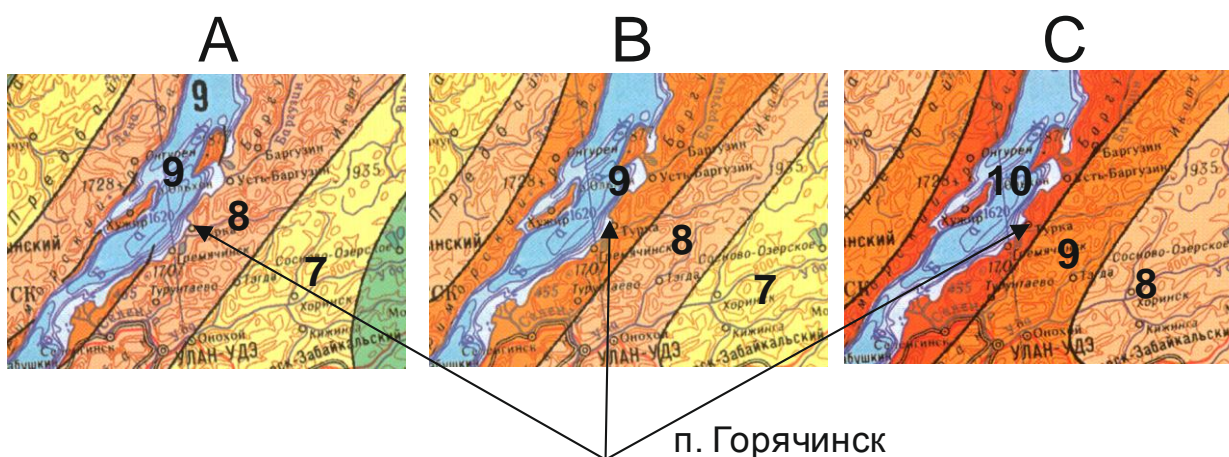


Рис. 3.13. Фрагмент карты ОСР-97.

Для оценки сейсмической опасности территории строительства в зависимости от инженерно-геологических и тектонических условий участка строительства, необходимы сведения о количественной оценке параметров движений грунта на случай сильных землетрясений. Это, прежде всего, сейсмическая опасность в баллах, максимальные ускорения колебаний грунтов, преобладающий период колебаний на случай сильного землетрясения и резонансные частоты рыхлой толщи.

Для этих целей использовались инженерно-геологические, гидрогеологические сведения, данные инструментальных измерений и реализация теоретических расчетов. Исходные материалы для решения поставленных задач были получены путем постановки сейсморазведочных, сейсмометрических и электроразведочных измерений [Методическое руководство..., 1988; Хмелевской, 1988; Огильви, 1990]. Использовались методы сейсмических жесткостей [Медведев, Инженерная сейсмология, 1962; Юшкин, 2005; Шнеерсон, 1988], микросейсм [Горбатиков, 2008; Malte, 1999; Ovando-Shelley, 2012], ВЭЗ [Электроразведка..., 1982; Якубовский, 1982; Электроразведка..., 1994; Электрическое зондирование..., 1982] и расчетные методы сейсмического микрорайонирования

[Ратникова, 1984]. Схема работ, проведенных на площадке исследований, приведена на рисунке 3.14.

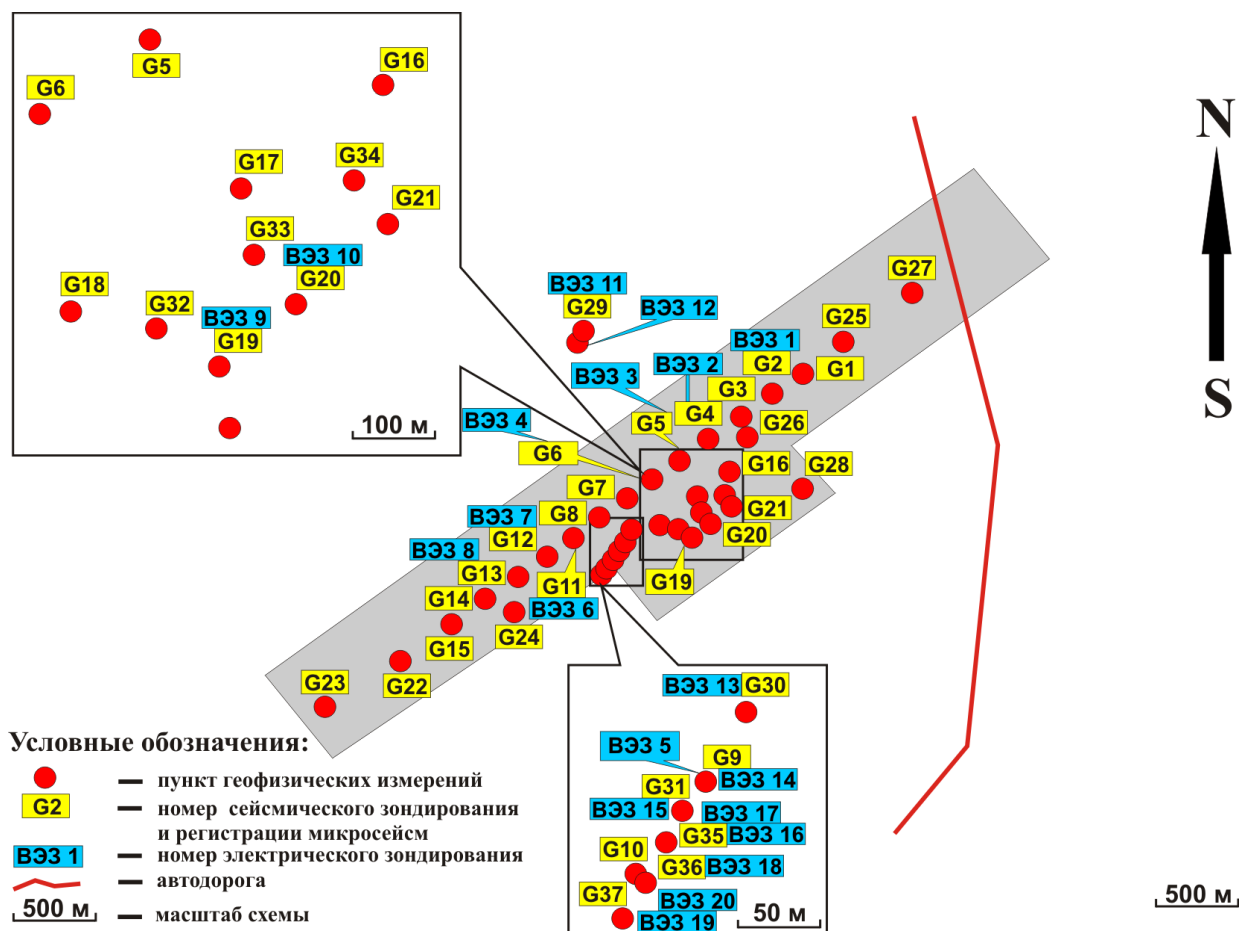


Рис. 3.14. Схема работ на площадке исследований.

Для анализа данных инструментальных методов, приводятся сведения о геологическом строении исследуемой площадки. Кратко они характеризуются следующим образом. В состав инженерно-геологического комплекса проектируемого строительства входят рыхлые и скальные грунты. Рыхлые грунты: песок желтовато-серый средней крупности, средней плотности, с гравием и галькой до 10-15%, маловлажный плотность грунта в естественном залегании – $1,81 \text{ г/см}^3$, ниже уровня грунтовых вод – водонасыщенный, до глубины 0,8 м – сыпучий $2,02 \text{ г/см}^3$; песок серый гравелистый, средней плотности, маловлажный – $1,77 \text{ г/см}^3$; ниже уровня грунтовых вод – водонасыщенный, $2,04 \text{ г/см}^3$; щебенисто-глыбовый грунт с песчаным заполнителем, маловлажный – $2,16 \text{ г/см}^3$, ниже уровня грунтовых вод – водонасыщенный, $2,20 \text{ г/см}^3$.

Скальные грунты представлены трещиноватыми кварц-пироксеновыми сланцами, гнейсами и кристаллическими известняками их объемная масса в зависимости от их сохранности от $2,5$ до $2,7 \text{ т/м}^3$.

Грунты с поверхности перекрыты почвенно-растительным слоем с корнями деревьев и торфом хорошо разложившимся, водонасыщенным.

Грунтовые воды представлены водоносным горизонтом, который приурочен к озерным пескам и болотным отложениям. Установившийся уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине до 4,4 м. Расчетный уровень грунтовых вод, с учетом сезонных колебаний, следует принять на 0,5 м выше зафиксированного.

Результаты электроразведочных измерений. Практика использования электроразведки при сейсмическом микрорайонировании показала, что посредством этого метода можно решать не только инженерно-геологические задачи, но и дополнить данные о сейсмических свойствах грунтов получаемых методами сейсмических жесткостей и микросейсм. На площадке исследований было выполнено двадцать вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) (рис. 3.14) и два ВЭЗ на скальных грунтах, для определения глубины их залегания и степени трещиноватости [PI2Win, 2004; Пархоменко, 1965; Пархоменко, 1968].

Для выполнения электроразведочных работ была выбрана симметричная установка AMNB, разносы которой выбирались в зависимости от условий заземления и рельефа местности и были приняты как $AB/2 - 220$ м, что при благоприятных геоэлектрических условиях даёт возможность изучать распределение электрических сопротивлений на глубину 70 и более метров.

Проведена качественная и количественная интерпретация кривых ВЭЗ. Разрезы кажущихся сопротивлений строились в зависимости от половины питающей линии, так как предполагается возможное проникновение электрического тока на эту глубину. Они наглядно показывают расположение слоев с различными значениями кажущихся сопротивлений (ρ_k) с глубиной. Количественная интерпретация кривых ВЭЗ по профилям представлена в виде геоэлектрических разрезов распределения удельного электрического сопротивления на различных глубинах.

В процессе исследований получены следующие результаты:

- **профиль ПР1** (рис. 3.15А), разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по оси взлётно-посадочной полосы аэропорта длиной свыше двух километров;
- **профиль ПР2** (рис. 3.15Б), проходит по оси площадки под строительство зданий и сооружений непосредственно самого аэропорта и технических служб. Его длина составляет 150 м;
- **профиль ПР4** (рис. 3.16), проложен в крест предполагаемой ослабленной зоны и пересекает реку Таловку. Данный профиль длиной 250 м выполнен на предмет изучения и определения зоны разлома.

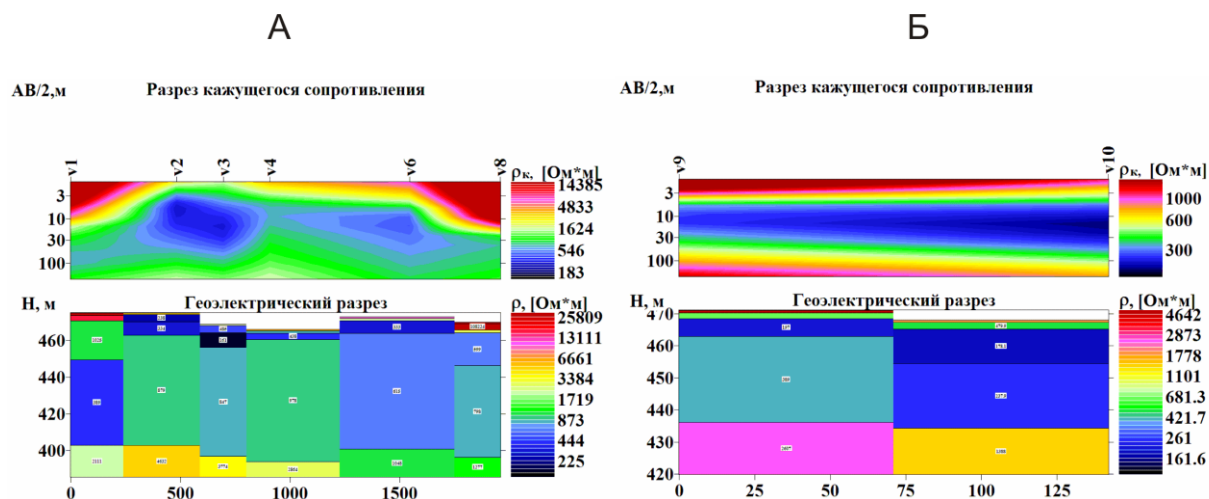


Рис. 3.15. Результаты интерпретации ВЭЗ по профилям ПР1 и ПР2.

По ПР1 отчетливо выделяются три горизонта. Первый слой имеет сопротивление порядка 6 000 – 15 000 Ом*м, что связано с сезонным промерзанием грунта и его минералогическим составом. Мощность горизонта варьирует в пределах 1–2,5 метров. Мощность второго слоя колеблется в пределах 40–65 метров, а сопротивление грунта – от 400 до 1 000 Ом*м. Это щебенисто-глыбовый грунт с песчаным заполнителем, маловлажный, водонасыщенный и, по-видимому, зона выветрелых коренных пород. Третий горизонт соответствует скальным менее трещиноватым грунтам, трещины которых также могут быть заполнены водой, поскольку его удельное электрическое сопротивление (УЭС) составляет 1 500 – 4 500 Ом*м.

Аналогичная картина строения наблюдается и на разрезах профиля ПР2. Однако, здесь хорошо выделяется уровень грунтовых вод, находящийся на глубине 3,5 – 3,9 метра. Мощность второго горизонта 30 – 35 метров, УЭС – 200 – 400 Ом*м, что соответствует в основном щебенисто-глыбовому грунту с песчаным наполнителем. Относительно-сохранные коренные породы характеризуются трещиноватым строением и имеют УЭС порядка 1 500 – 2 500 Ом*м.

Особое внимание было уделено изучению участка перехода взлетной полосы через р. Таловка, в отношении наличия здесь предполагаемой разломной зоны. На этом участке в крест простирания оси данной зоны проложен профиль (ПР4).

АВ/2,м

Разрез кажущегося сопротивления

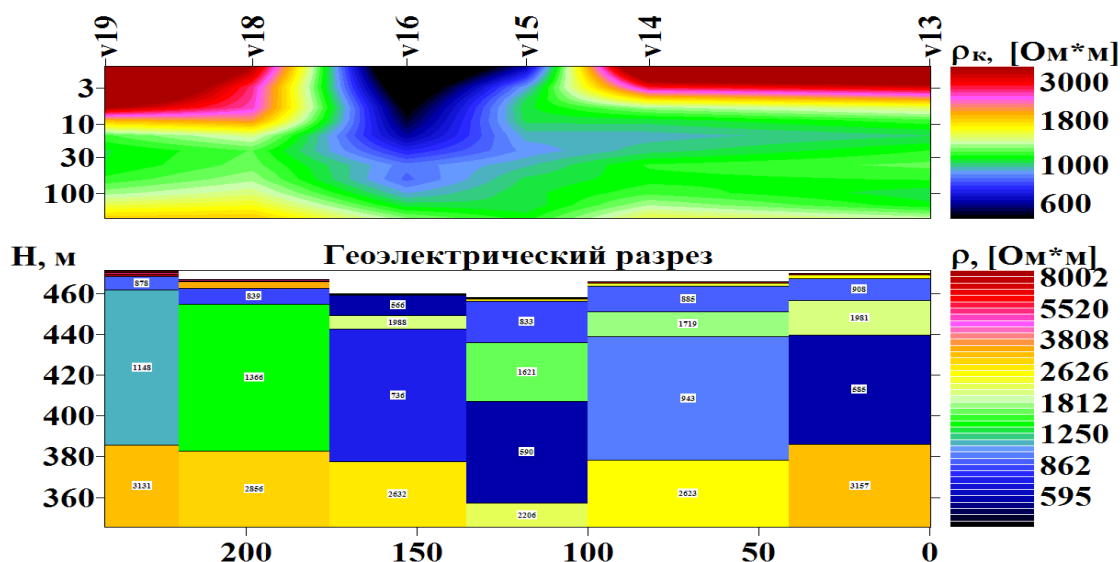


Рис. 3.16. Результаты интерпретации ВЭЗ по профилю ПР4, расположенному вкрест оси простираения предполагаемого разлома.

Как видно из рисунка 3.16, нахождение в данном месте тектонического нарушения не подтвердилось. Река Таловка протекает между 15 и 16 ВЭЗ. На геоэлектрическом разрезе выделяются пять слоев. В районе русла реки сопротивление грунтов ниже, чем на её берегах и составляет 500 – 700 Ом*м. Более плотные коренные породы имеют сопротивление, как и на всей площадке аэропорта, 2 500-3 500 Ом*м. Глубина их залегания соответствует отмеченной выше по ПР1 (рис. 3.15А). То есть они находятся на глубине 60–70 метров. На геоэлектрическом разрезе профиля ПР4 кроме описанных выше слоёв, выделен ещё слой с сопротивлением грунта 1 400–2 000 Ом*м и мощностью 5–15 метров, который вероятнее всего можно охарактеризовать как песок серый гравелистый, средней плотности.

Для полноценного изучения электрических свойств грунтов были выполнены измерения на обводненных и скальных грунтах (вне исследуемой площадки), которые дополнили полученную информацию о строении обследуемой территории. Результаты интерпретации по профилям ПР3 и ПР5 даются в описательном порядке. Они подтвердили основные свойства грунтов, слагающих территорию реконструкции аэропорта. То есть обводненные грунты имеют сопротивление в среднем 250–650 Ом*м, мощность около 40–60 метров, а коренные породы – УЭС от 2 500 до 4 500 Ом*м. Кроме того выделяется слой серого гравелистого песка средней плотности, необводненного. Он характеризуется повышенным сопротивлением по отношению к вмещающим породам, 1 500 – 2 000 Ом*м, и мощностью 10–15 м.

Можно отметить, что удельное электрическое сопротивление ($УЭС$), зависит от состава и состояния грунтов [Матвеев, 1990]. При переходе от скальных, к рыхлым неводонасыщенным и далее к водонасыщенным грунтам этот параметр плавно уменьшается. В дальнейшем данные электроразведки использовались для обоснования построения расчетных сейсмических моделей, поскольку данные бурения и сейсморазведки изучают только верхнюю часть разреза от 5 до 15 м, т.к. необходимо построение сейсмических моделей до эталонных и относительно сохранных коренных пород.

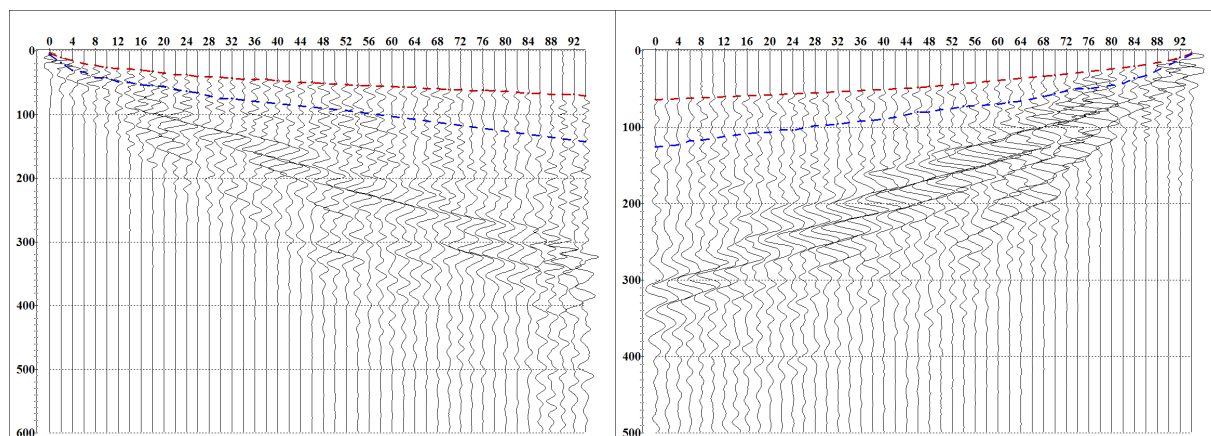
Оценка сейсмической опасности участка строительства при помощи метода сейсмических жесткостей. Одним из важных параметров для реализации необходимых расчетов являются скорости сейсмических волн в слоях грунтов до относительно сохранных коренных «эталонных» пород. Сейсморазведочные наблюдения [Сейсморазведка, 1981] проводились методом преломленных волн (КМПВ) при использовании компьютеризированной станции «Лакколит 24-М2». Измерения проводились на самой площадке исследования и за ее пределами на участках близкого залегания скальных пород и водонасыщенных участках.

Характерные сейсмограммы, зарегистрированные на разных по составу и состоянию грунтах, представлены на рисунке 3.17. Из рисунков видно, что по исходным данным в большинстве случаев выделение полезных P и SH не вызывало затруднений. Их значения сверялись по ранее установленным связям между V_p и V_s для аналогичных по составу и состоянию грунтов [Методическое руководство..., 1988; Назаров, 1977; Методы геофизики..., 1985; Ляховицкий, 1989].

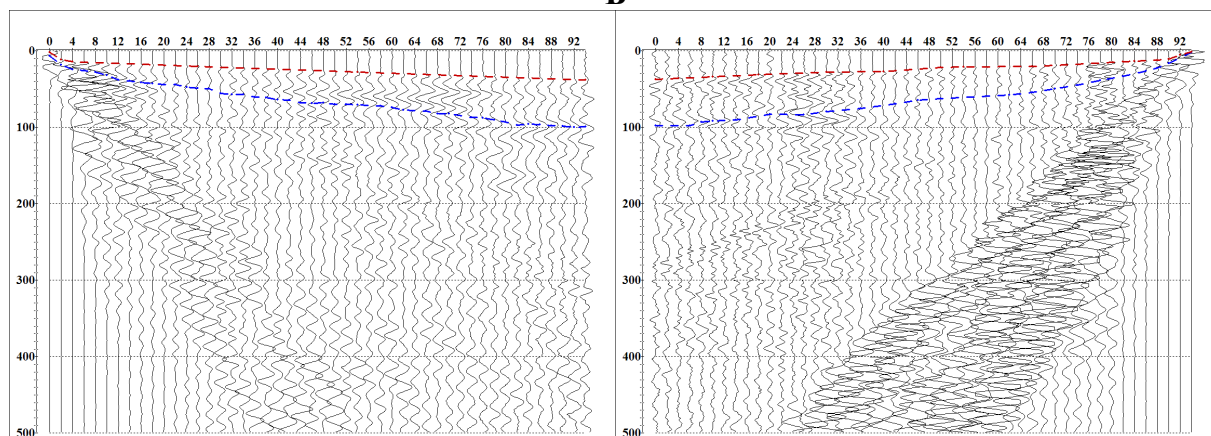
Практически повсеместно до глубины 10-15м выделяются два или три четыре слоя. По мощности и скоростям в верхней зоне разреза они достаточно выдержаны. Ниже 10 м различия могут быть значительными. В верхнем слое сезонного промерзания (до 2-3м), скорости продольных сейсмических волн имеют низкие значения для исследуемого участка, от 280 до 500-600 м/с. При проведении дальнейших расчетов сейсмической опасности в баллах, почвенно-растительный слой с относительно низкими значениями скоростей до 2-3 м исключался, а скорости в нем брались соответствующими нижележащему слою. Это связано с тем, что при строительстве этот слой будет заменяться более плотными рыхлыми грунтами. Таким образом, первый слой до глубины залегания УГВ будет иметь диапазон V_p от 600 до 900-1200 м/с, отношение скоростей V_p/V_s меняется то 2 до 2,2. Второй слой водонасыщенных грунтов, представлен в основном щебенисто-глыбовым грунтом с песчаным заполнителем; V_p меняется от 1500 до 1900 м/с, V_p/V_s – от 2,3 до 3,5. Такое отношение скоростей в водонасыщенных

грунтах, по-видимому, связано с преобладанием в них крупных фракций [Рященко, 1997; Рященко, 1992]. Третий слой, соответствует сильно трещиноватым коренным породам со значениями скоростей V_p от 1900 до 2200 м/с.. Ниже в коренных породах скорости быстро увеличиваются до 2400-2500 м/с и далее до 2800 м/с. Важно, что это характерно для нашего участка с любой глубины залегания коренных пород (для исследованных глубин).

А



Б



В

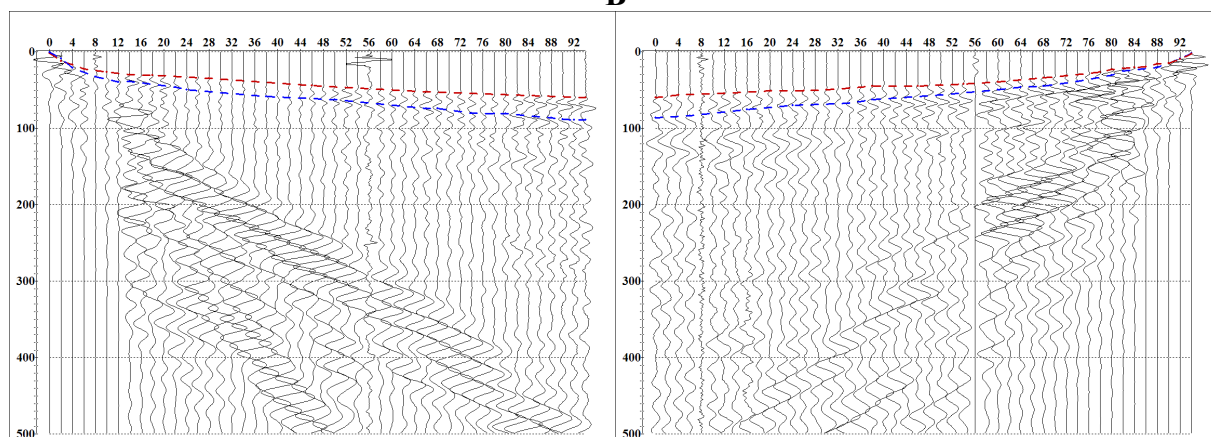


Рис. 3.17. Примеры сейсмограмм, зарегистрированных на разных по составу и состоянию грунтах. А-средние грунтовые условия, Б-обводненные грунты, В- скальные породы.

Значения скоростей «эталона», необходимого при расчетах, выбирались с учетом данных измерений скоростей в коренных породах, выполненных ранее в пределах Баргузинского хребта в верхней 10-20 м зоне разреза [Павлов, 1987]. В итоге, вполне обоснованно, за эталон принимаются наиболее вероятные значения скоростей в трещиноватых коренных породах со значениями V_p равными 2100 м/с и V_s – 1100 м/с. Наиболее вероятная объемная масса этих грунтов, по инженерно-геологическим данным, близка к 2,5 т/м³.

Таким образом, для проведения расчетов сейсмической опасности по методу сейсмических жесткостей, построения необходимого набора сейсмических моделей и реализации расчетных методов, были получены все необходимые данные о составе грунтов, скоростях распространения в них сейсмических волн, мощности рыхлых отложений и объемной массе эталонных и исследуемых грунтов. Наклон рельефа значительно меньше 15°, поэтому при расчетах сейсмической балльности поправки за счет этого параметров не вводились.

Приращения балльности по отношению к эталонному грунту (коренные породы) по методу сейсмических жесткостей лежат в пределах от 0,7 до 1,3 баллов. Сейсмическая опасность всей площадки строительства аэропорта меняется от 8,7 до 9,3 баллов.

Оценка сейсмической опасности участка строительства при помощи метода микросейсм. Регистрация микросейсм проводилась по трассе взлетно-посадочной полосы и на участках зданий и сооружений аэропорта. Пункты регистрации микросейсм и сейсморазведочных измерений совпадают, как и их номера (рис. 3.14).

Для наглядности и подтверждения полученных результатов по методу микросейсм, представлены записи микросейсм и их амплитудно-частотные характеристики для различных грунтовых условий района строительства (рис. 3.18).

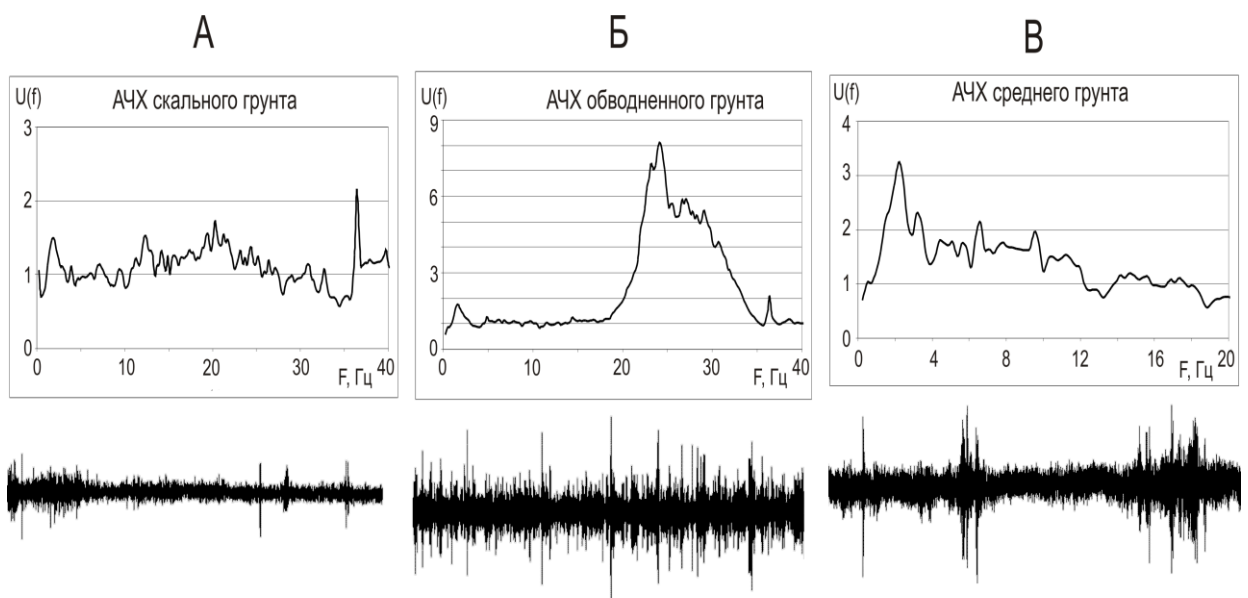


Рис. 3.18. АЧХ и акселерограммы на разных по составу и состоянию грунтах. А-скальные грунты, Б-рыхлые водонасыщенные, В-«средние» грунты площадки исследований .

Полученный достаточно большой набор экспериментальных данных по методу микросейсм и относительная однородность исследуемой территории по инженерно-геологическим данным позволяет вычислить среднюю частотную характеристику (рис. 3.19). Осреднение проведено по значениям максимальных амплитуд на фиксированных частотах.

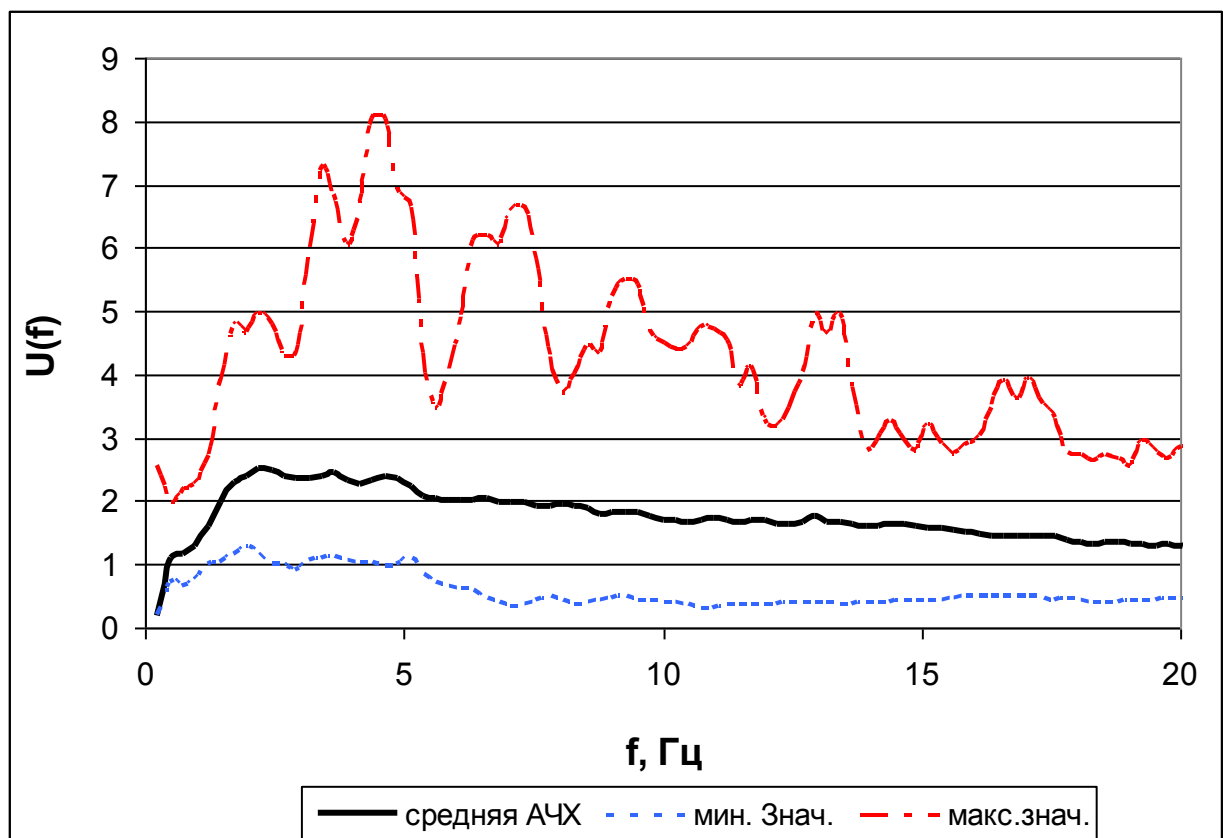


Рис. 3.19. Средняя амплитудно-частотная характеристика грунтов в пунктах наблюдения на исследуемой площадке.

Основные максимумы средней частотной характеристики находятся в интервале 2,2–2,6 и приходятся на диапазон частот от 2 до 5 Гц.

В итоге отмечается, что амплитудно-частотные характеристики в пунктах проведения измерений на площадке строительства характеризуют степень увеличения интенсивности колебаний грунтов в зависимости от частоты. Уровни передаточных функций (АЧХ) непосредственно использовались для расчета приращений балльности для каждого пункта регистрации микросейсм.

Таким образом, оценка сейсмической опасности площадки с помощью метода микросейсм приводит к следующим результатам. Приращения сейсмической опасности по отношению к эталонным коренным породам меняется от 0,3 до 1,3 баллов. Сейсмическая опасность площадки по этому методу меняется от 8,3 до 9,3 баллов, что хорошо коррелирует с данными метода сейсмических жесткостей.

Прогноз параметров колебаний грунтов на случай сильных землетрясений.

Для комплексной оценки инженерно-сейсмологических условий площадок строительства аэропорта, кроме сейсмической опасности в баллах, необходимы сведения о количественной оценке параметров движений грунта на случай сильных землетрясений. Это, прежде всего, максимальные ускорения колебаний грунтов, преобладающий период колебаний на случай сильного землетрясения и резонансные частоты рыхлой толщи. В свою очередь для их получения необходимо задание исходного сигнала (с учетом зон ВОЗ и параметров очага), построение необходимого числа сейсмических моделей и проведение теоретических расчетов. Последние даются для обобщенных сейсмических моделей, которые являются наиболее вероятными для грунтовых условий территории строительства. Для расчетов акселерограмм, спектральных характеристик, спектров ускорений использовался набор методов [Джурик, 2005; Джурик, К районированию..., 2011; Методическое руководство..., 1988].

Исходный сигнал для вероятного сильного землетрясения определяется на основе количественных геолого-геофизических и сейсмологических данных. Расчетная модель – на основе инженерно-геологических данных, прямых измерений и обобщенных данных о скоростях сейсмических волн на площадке строительства.

Исходная акселерограмма сформирована по методике изложенной выше при использовании местных землетрясений из каталога Байкальской сейсмологической экспедиции (рис. 3.20).

Основные параметры сформированных акселерограмм следующие: продолжительность колебаний около 20 с на уровне 0,3 от максимума, интервал частот спектра на уровне 0,5 от максимума для горизонтальных компонент (NS и EW) меняется от 1,9 до 16,1 Гц, на уровне 0,7 от максимума – от 2,49 до 11,8. Максимальные значения основных максимумов спектра приходятся на частоты 8,74 и 6,79 Гц, а их значения достигают 36,5 и 40,8 см/с. Максимальное значение ускорений достигает 196-200 см/см². Для вертикальной компоненты отмеченные выше величины распределяются следующим образом: интервал частот спектра на уровне 0,5 от максимума для горизонтальных компонент (NS и EW) меняется от 1,9 до 15,4 Гц, на уровне 0,7 от максимума – от 3,03 до 10,4. Максимальное значение основного максимума спектра приходится на частоту 4,44 Гц а его максимум равен 21 см/с. Максимальное значение ускорений составляет 100 см/см².

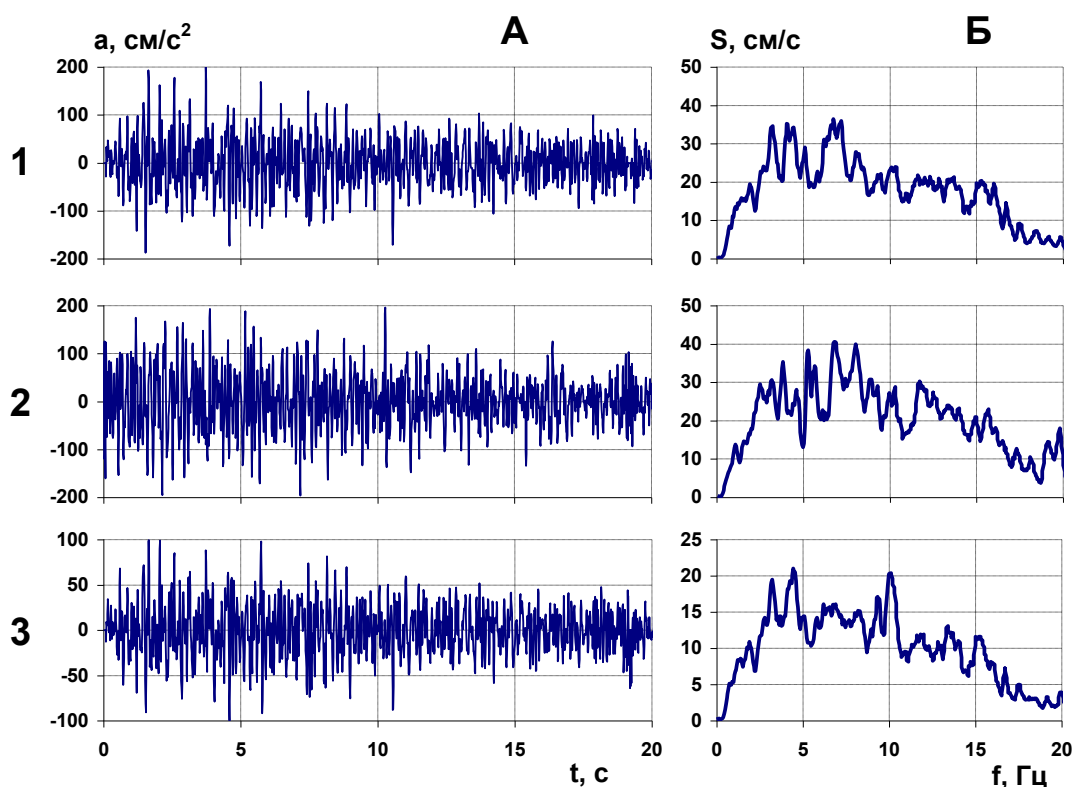


Рис. 3.20. Сформированный сейсмический сигнал для коренных «эталонных» грунтов для территории Аэропорта, с принятой исходной сейсмичностью равной 9 баллам. А – исходные акселерограммы, Б – соответствующие им амплитудные спектры Фурье: 1 – для NS, 2 – для EW, 3 – для Z компоненты.

Таким образом, параметры синтезированной акселерограммы (по частотному составу) отвечают как близким, так и относительно далеким сильным землетрясениям, то

есть, по частотному составу учтены основные особенности зон ВОЗ для площадки Аэропорта.

Для проведения теоритических расчетов было построено 5 типовых моделей, которые характеризуются мощностью слоев, скоростями распространения продольных и поперечных волн и плотностью грунтов (табл. 3.6). Для этого использовались данные о скоростях распространения сейсмических волн и данные электроразведки.

Модель №1 соответствует эталонным «коренным» породам для района строительства. Максимальные значения ускорений коренных пород для горизонтальной компоненты не превышает 211 см/с^2 , а для вертикальной 107 см/с^2 . Это согласно шкале балльности соответствует эталонному сейсмическому воздействию для скальных пород района, равного 8-ми баллам. Спектры ускорений (рис. 3.21 и 3.22: М. №1Б) имеет максимумы (на уровне 0,7) в интервале частот 2,93-8,2 Гц, их основные максимумы достигают значений $38,5 \text{ см/с}$ – для максимальной горизонтальной компоненты (NS) и $22,1$ для вертикальной компоненты (Z).

Таблица 3.6

Параметры расчетных сейсмических моделей для обобщенных типовых разрезов.

№ модели, типовой разрез.	h (м)	Vp (м/с)	Vs (м/с)	ρ (т/м ³)	A _{max} для NS (Z) I (баллы)
Эталонная сейсмогрунтовая модель.					
№1 Скальные породы	10	2100	1100	2,5	211 (107) 8
	10	2400	1290	2,6	
	∞	2800	1540	2,7	
Площадки строительства аэропорта.					
№2	3	700	350	1,9	359 (183) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	2100	1100	2,5	
	10	2400	1290	2,6	
	∞	2800	1540	2,7	
№3	3	700	350	1,9	421 (231) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	1800	750	2,1	
	10	2100	1100	2,5	
	∞	2800	1540	2,7	
№4	3	700	350	1,9	453 (242) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	1800	750	2,1	
	20	1900	810	2,1	
	10	2100	1100	2,5	
	∞	2800	1540	2,7	

№5	3	700	350	1,9	409 (232) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	1800	750	2,1	
	20	1900	810	2,1	
	30	2000	870	2,2	
	10	2100	1100	2,5	
	10	2400	1290	2,6	
	∞	2800	1540	2,7	

Модели № 2-5 соответствуют различной мощности рыхлых, разрушенных и трещиноватых коренных пород, в большинстве случаев водонасыщенных, для исследуемой площадки. Подстилаются они коренными породами с «эталонными» значениями скоростей (М. №1). Ускорение колебаний для грунтов представленных этими моделями меняются от 359 до 453 см/с² для NS и от 183 до 242 см/с² для Z компонент. Максимумы спектров лежат в интервале 58,4-90,4 см/с – NS и 41- 52,9 см/с – Z (рис. 3.21 и 3.22). Ширина спектра на уровне 0,7 от максимума находится в интервале частот от 2,98 до 15,3 Гц.

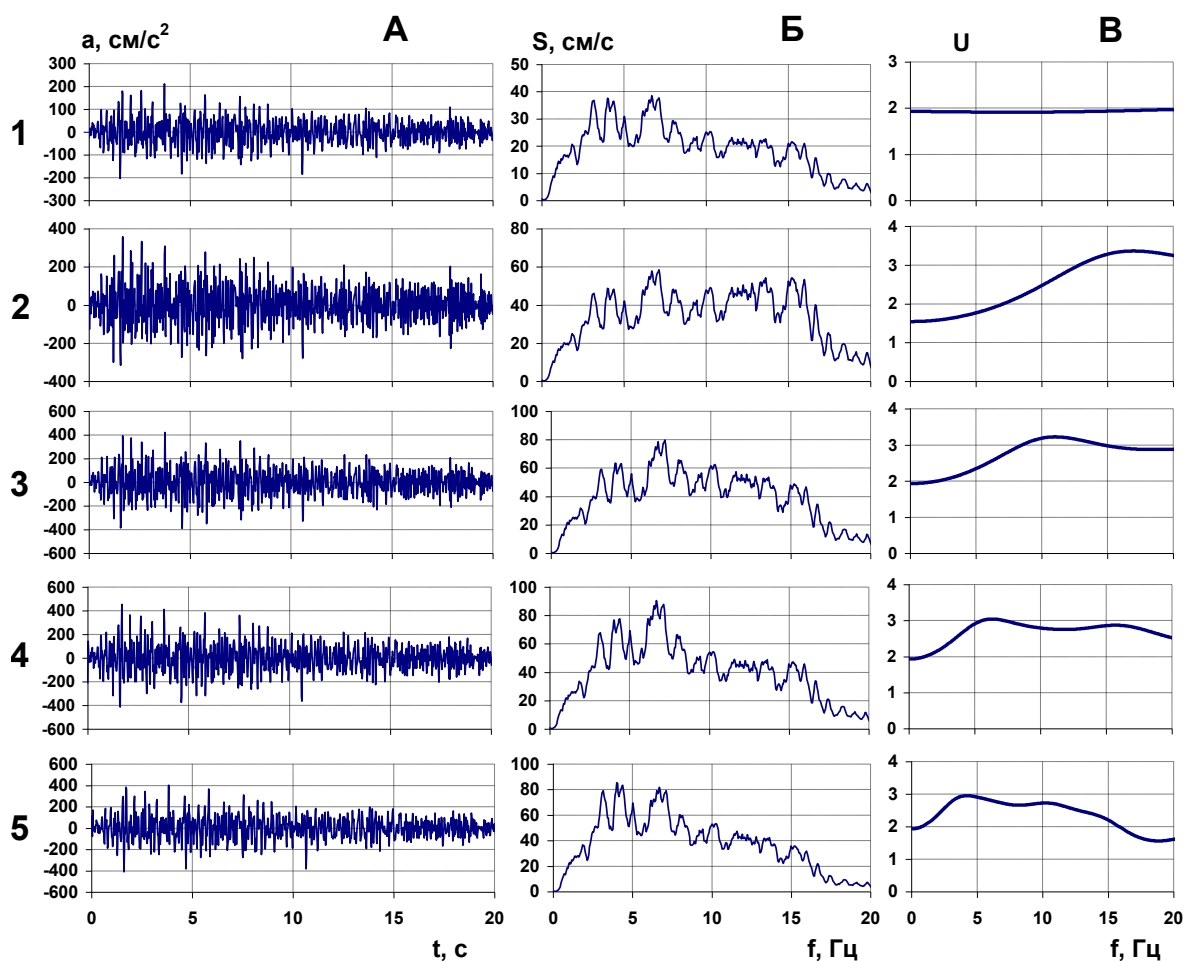


Рис. 3.21. А – акселерограммы, Б – их амплитудные спектры, В – частотные характеристики рыхлых слоев (для горизонтальной компоненты; слева указаны номера моделей)

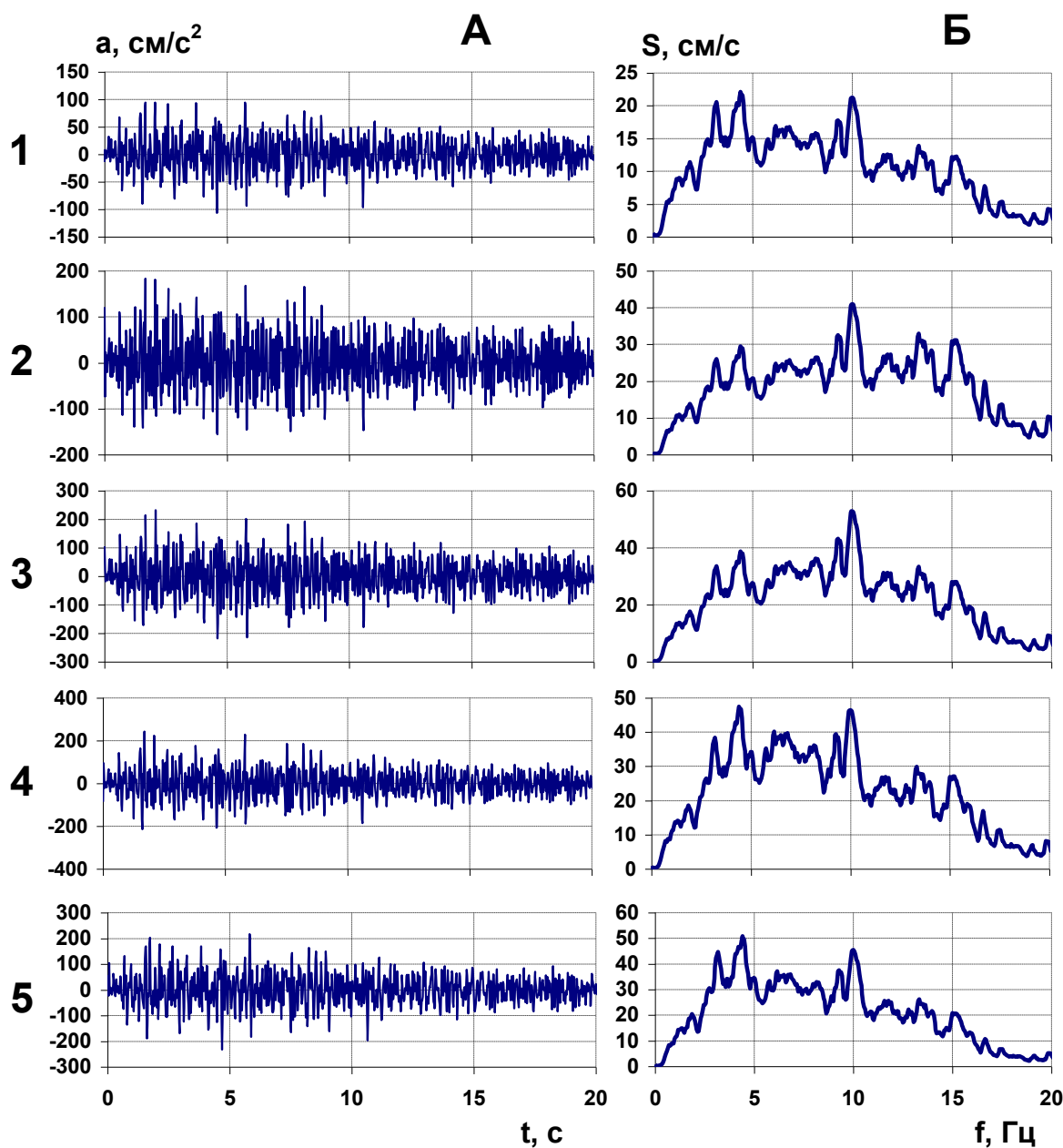


Рис. 3.22. А – акселерограммы, Б – их амплитудные спектры (для вертикальной компоненты; слева указаны номера моделей)

Таким образом, сейсмическая опасность площадки строительства аэропорта с помощью расчетного метода уверенно определяется равно 9 баллам. Для участка проектируемого строительства комплекса аэропорта проведен краткий анализ материалов по разломной тектонике, сейсмологии и сейсмогеологии. Представлена карта эпицентров

местных землетрясений с учетом данных ISCCD и уточнены параметры сильных землетрясений из зон ВОЗ. По данным экспериментальных методов получены все необходимые сведения о состоянии грунтов, мощности рыхлых отложений, основных сейсмических параметрах эталонных и исследуемых грунтов, скоростях распространения в них сейсмических волн и распределению уровня микросейсм по площади. Были проведены необходимые расчеты параметров колебаний грунтов в основании сооружений на случай сильных землетрясений при использовании расчетных методов.

В итоге, при использовании комплекса экспериментальных и расчетных методов, сейсмическая опасность участка строительства в пределах реконструкции аэропорта Горячинск вполне обоснованно оценивается как относительно однородная в сейсмическом отношении в 9 баллов. Максимальные ускорение колебаний для различных участков на территории строительства, для прогнозируемых сильных землетрясений могут меняться от 359 до 453 см/с² для NS и от 183 до 242 см/с² для Z компонент. Максимумы спектров лежат в интервале 58,4-90,4 см/с – NS и 41- 52,9 см/с - Z. Ширина спектра на уровне 0,7 от максимума находится в интервале частот от 2,98 до 15,3 Гц. Резонансные свойства рыхлых грунтов лежащих на коренных породах ожидаются на частотах от 4,25 до 17 Гц, на этих частотах возможно ожидать наибольших увеличений исходных сигналов.

В отношении проведенных расчетов сейсмических воздействий отмечается, что они проведены в предположении упругого деформирования и величины остаточных деформаций могут определяться по шкалам балльности с учетом расчетных значений максимальных ускорений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих на сегодняшний день расчётных методов показывает, что основным недостатком тех методов, которые учитывают нелинейные явления (например, таких как NERA), является ограничение типов рассматриваемых волн, механизма обмена и углов подхода сейсмического луча. Поэтому в случае падения на горизонтально-слоистую грунтовую толщу из упругого полупространства волн различных типов (P, SV) при произвольных углах подхода необходимо применять метод тонкослоистых сред (MTC), разработанный Л.И. Ратниковой.

При умеренном сейсмическом воздействии поведение грунтов не выходит за рамки основных положений теории упругости, согласно которым нормальные напряжения линейно зависят от деформаций. Поэтому для приведения записей землетрясений, зарегистрированных на сейсмических станциях, использовался в основном метод тонкослоистых сред. В то же время необходимо отметить, что эмпирические способы СМР так или иначе учитывают нелинейные свойства грунтов, в т.ч. использовавшийся в работе способ спектральных отношений.

Программное обеспечение, реализующее выбранные расчётные методы, разработано в 70-80-е годы прошлого века, и их теоретическая основа не вызывает возражений. Однако информационные технологии за последние годы ушли далеко вперед, и с точки зрения программной реализации данное программное обеспечение сильно устарело. Поэтому в рамках данной работы была разработана графическая оболочка для указанного комплекса программ, которая автоматизирует процесс работы с файловой системой, имеет удобный графический интерфейс, облегчающий ввод данных. Это позволило в разы повысить эффективность расчётов.

В работе впервые определены частотные характеристики верхней зоны разрезов под всеми сейсмическими станциями Прибайкалья. Частотные характеристики получены двумя способами – расчетным и способом спектральных отношений.

Для расчетных методов, как показали исследования, оказалось достаточным построение скоростных разрезов в виде двух–четырёхслойных моделей при общей мощности изучаемых рыхлых отложений, не превышающей 100 м. Дополнительные исследования, проведенные для сейсмической станции “Иркутск”, показали, что расчетные частотные характеристики отражают влияние на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала именно изучаемого слоя. Частотные характеристики, полученные способом спектральных отношений, по сравнению с частотными характеристиками, полученными расчетным способом, отражают влияние на амплитудно-частотный состав

сейсмического сигнала и более мощных отложений. Сопоставление частотных характеристик верхней зоны разреза, не превышающей 100 м, полученных расчетным способом и способом спектральных отношений, показывает их достаточно хорошую сходимость. В случае построения сейсмических моделей верхних толщ, мощность которых значительно превышает 100 м, расчетный способ, возможно, окажется вполне приемлемым для получения частотной характеристики верхней зоны. Для этого необходимо увеличить глубинность геофизических исследований. Влияние сезонных факторов (оттаивание – промерзание) на частотную характеристику верхней зоны разреза под сейсмостанциями может сказываться на частотах выше 6 Гц.

Рассмотрение характеристик спектров ускорений землетрясений юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны позволяет сделать следующие выводы. Частотный состав спектров ускорений зависит от типа подвижки в очаге, выражающийся в расширении спектров по частоте для взбросо-сдвигов и взбросов по отношению к спектрам для сбросо-сдвигов и сдвига со сбросовой компонентой. Уровень спектров ускорений, зарегистрированных на различных сейсмостанциях, зависит от направленности подвижки в очаге. Так на станциях, направление на которые от очага совпадает с направлением тензора сейсмического момента в очаге, уровень спектров превышает уровень спектров на сейсмостанциях, направление от очага на которые близ перпендикулярно последнему. Спектры ускорений умеренно сильных афтершоков основного землетрясения не несут полной информации об амплитудно-частотном составе основного землетрясения. В нашем случае это выражается в большей высоко частотности спектра афтершока. Разброс уровней спектров ускорений одного и того же землетрясения, зарегистрированного на различных сейсмостанциях, сравним с разбросом уровней спектров различных землетрясений, зарегистрированных одной станцией.

Полученные средние и прогнозные спектры ускорений юго-западной части Байкальской рифтовой зоны могут служить оценочной характеристикой динамических параметров сейсмических сигналов. Очевидно, дальнейшее изучение спектров должно быть направлено, не только на их простое уточнение, но и на учет типа подвижек в очаге, их направленности, относительного расположения сейсмостанции и очага и направлений основных разрывных нарушений и других факторов.

По имеющимся экспериментальным записям ускорений рассчитаны средние амплитудные спектры, которые приведены к потенциально возможным магнитудам конкретно рассмотренных зон ВОЗ. По полученным амплитудным спектрам и фазовым спектрам реальных землетрясений путем обратного преобразования Фурье рассчитаны ожидаемые акселерограммы соответствующих зон ВОЗ. Изменение фазового спектра

влечет за собой не только изменение колебательного процесса, но и огибающей ожидаемой акселерограммы, что позволяет рассчитать последние как для землетрясений импульсного характера, так и для землетрясений с относительно плавным нарастанием и снижением интенсивности колебаний. Значения максимальных ускорений акселерограмм сопоставлены с баллами по шкале MSK-64. Для дальнейшего использования акселерограмм при теоретических расчетах характеристик среды различных грунтовых моделей, акселерограммы должны быть отнесены к грунтам 1-ой категории.

В приведенной методике формирования исходного сейсмического сигнала были использованы основные параметры сильных движений грунта в Байкальской рифтовой зоне за последние десять лет. Сформированный исходный сейсмический сигнал на примере г. Иркутска учитывает основные параметры зон ВОЗ и полученные эмпирические зависимости основных динамических характеристик ускорений грунта от магнитуды и расстояния, которые позволяют прогнозировать записи акселерограмм для различных эпицентральных расстояний и магнитуд. Таким образом, он является наиболее обоснованным для территории г. Иркутска и иркутской агломерации. В работе показана возможность использования полученного исходного сигнала и проведены теоретические расчеты для сейсмогрунтовых моделей, характеризующих вероятностные модели эталона для коренных пород (грунтов 1-й категории), средних грунтов (2-й категории) и водонасыщенных грунтов. Получены оценки сейсмических воздействий для зоны с исходной сейсмичностью 8 баллов, и используя модели эталона, для 9-балльной зоны с различной по мощности грунтовой толщей водонасыщенных и неводонасыщенных грунтов. Безусловно, что полученные результаты могут уточняться в дальнейшем, но уже сейчас их можно использовать при планировании возможного строительства на территории иркутской агломерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bardet J.P., Ichii K., Lin C.H. EERA. A computer Program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits. University of Southern California, Department of Civil Engineering. 2000. 98 с.
2. Bardet J.P., Tobita T. NERA. A computer Program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits, University of Southern California, Department of Civil Engineering. 2001. 44 с.
3. Boore D.M. Simulation of ground Motion Using the Stochastic Method // Pure Appl. Geoph. 2003, V.160, p. 339-353.
4. Boore D. M. Updated Determination of Stress Parameters for Nine Well-Recorded Earthquakes in Eastern North America // Seismological Research Letters. 2012, V. 83, p. 190-199.
5. Duan X. B. Geographical distribution of hypocentral depths of Chinese earthquakes // Acta Seismologica Sinica. 1997, V. 10, p. 731-741.
6. Trifunac M. D. Dependence of fourier spectrum amplitudes of recorded earthquake accelerations on magnitude, local soil conditions and on depth of sediments // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1989, V. 18, p. 999-1016.
7. Abrahamson N. Comparisons of the NGA Ground-Motion Relations // Earthquake Spectra. 2008, V. 24, p. 45-66.
8. Atkinson G. M., Boore D. M. Recent Trends in Ground Motion and Spectral Response Relations for North America // Earthquake Spectra. 1990, V. 6, p. 15-35.
9. Boore D. M., Atkinson G. M. Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01 and 10.0 // Earthquake Spectra. 2008, V. 24, p. 99-138.
10. Novikova E. I., Trifunac M. D. Duration of strong ground motion in terms of earthquake magnitude, epicentral distance, site conditions and site geometry // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1994, V. 23, p. 1023-1043.
11. Wald D. J. Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California // Earthquake Spectra. 1999, V. 15, p. 557-564.
12. Basu D. Extracting rotational components of earthquake ground motion using data recorded at multiple stations // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2012, p. 451-468.
13. <http://www.seis-bykl.ru>

14. IPI2Win. Руководство пользователя. – М.: МГУ, Геолог. Ф-т, каф. Геофизики, 2004. – 33 с.
15. Malte I. Measurements used to map thickness of soft sediments./ Malte I., Wohlenberg J. Microtremor //Bull/ Seism. Soc. -1999.-V 89.- No. -1.-P. 250-259.
16. Nakamura Y. On the H/ V spectrum // 14 WCEE. October 1–17, Beijing, China, 2008. P. 10.
17. SEG Y rev 1 Data Exchange format // SEG Technical Standards Committee. Release 1.0, May 2002. 45 pp.
18. V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa, V.A. Potapov, A.F. Drennov, Ts. Batsaikhan, T.G. Ryashenko, S.P. Serebrennikov, V.I. Yushkin, D. Selenge, A.U. Eskin. Methodical grounds for zoning of seismic hazard//Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia. – ULAANBAATAR – IRKUTSK, 2004. – S.204 – 211
19. Yamazaki F., Ansary M.A. Stability of H/V spectrum ratio of earthquake ground motion // Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Lyon, France. August 17–22, 1997. P.37–44.
20. Ovando-Shelley E. Microtremor measurements to identify zones of potential fissuring in the basin of Mexico // Geofísica internacional. 2012, V. 51, p. 143-156.
21. Андерсон Дж. Г. К., Тригг К.Ф. Интересные случаи из практики инженерной геологии. – М.: Недра, 1981. – 224 с.
22. Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Генерирование искусственных акселерограмм методом масштабирования реальных записей // Физика Земли, 2002, №7, С. 39–45.
23. Берзон И.С. Сейсмическая разведка вертикально-слоистых сред фундамента. М.: Недра, 1977. 320 с.
24. Бобачев А. А., Марченко М.Н., Модин И.Н. и другие. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред//Физика Земли. – 1995. – №12. – С.79 – 90
25. Богословский В.А., Огильви А.А. Геофизические методы в системе инженерно-геологического мониторинга//Инженерная геология. – 1985. – №3. – С.3 – 14
26. В.И. Джурик, С.П. Серебренников, Ц. Батсайхан, В.И. Юшкин, А.Ю. Ескин, А.Ф. Дренов. Отражение приповерхностных зон крупных разломов Сибири и Монголии в геофизических полях: Сб. науч. тр./Тридцать седьмое Тектоническое совещание. – М., 2005. – Т.2. – С. 202 – 205
27. В.И. Юшкин, В.И. Джурик, Серебренников С.П., А.Ф. Дренов, Ю.А. Ескин. Изучение динамики упругих свойств мерзлотно-геологической среды геофизическими методами в процессе ее деградации: Материалы. Всероссийская конференция с

международным участием «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов». – Архангельск, 2004. – Т.2. – С.426 – 428

28. Вартанян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли//Доклады АН СССР. – 1982. – Т.262. – Вып.2. – С.310 – 314

29. Вахромеев Г.С., Дмитриев А.Г., Павлов О.В., Джурик В.И. Физико-геологическое моделирование верхней части разреза в условиях многолетней мерзлоты. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. – 129 с.

30. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: Справочник геофизика/Дмитриев В.И., Морозов В.А., Жданов М.С. и др.; Под ред. В.И.Дмитриева. – М.: Недра, 1982. – 222 с.

31. Геофизические исследования скважин. Справочник геофизика: – М.: Недра, 1983. – 591 с.

32. Геофизические методы исследования: Учебное пособие для вузов/В.К. Хмелевской, М.Г. Попов, А.В. Калинин и др.; Под ред. В.К. Хмелевского. – М.: Недра, 1988. – 396 с.

33. Гилева Н.А., Мельникова В.И., Масальский О.К. Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции.- Обнинск: ГС РАН, 2008, с.53-59.

34. Гогелия А.А., Напетваридзе Ш.Г. Применение метода конечных элементов при сейсмическом микрорайонировании. //Сейсмическое микрорайонирование. М.: Наука, 1977. С. 161-164.

35. Голенецкий С.И. Землетрясения в Иркутске. Иркутск, Изд-во «Имя», 1997,97 с.

36. Горбатиков А.В. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм / А.В. Горбатиков [и др.]// Физика Земли - 2008.- №1.- С. 57-67.

37. Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. – М.: Недра, 1979. – 79 с.

38. Гурвич И. И., Боганик Г. Н. Сейсмическая разведка. – М.: Недра, 1980.

39. Гуревич И.И. Сейсмическая разведка. М: Недра, 1970. 350 с.

40. Гусев А.А., Петухин А.Г., Гусева Е.М., Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Средние спектры Фурье сильных движений грунта при землетрясениях Камчатки // Вулканология и сейсмология, 2006, №5, С. 60-70.

41. Гусев А.А., Гусева Е.М. Моделирование движения грунта при Петропавловском землетрясении 24.11.1971 // Физика Земли. – 2009. – № 5. – С. 29–38.

42. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. – М.: Недра, 1972. – 368 с.
43. Дебряну Р. Теория и интерпретация результатов геофизических методов исследования скважин. – М.: Недра, 1972г. – 288 с.
44. Демьянович В.М. Основные разломы Байкальской рифтовой зоны и формируемая ими сейсмичность / В.М. Демьянович [и др.] // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Материалы совещания. –Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007. – С.108-116.
45. Демьянович Н.И. О предпосылках изменения сейсмической интенсивности на территории г. Иркутска//Сейсмический риск и сейсмическое микрорайонирование. – Иркутск, 1994. – С.75 – 76
46. Демьянович Н.И., Комарова М.В., Крыжановская И.Н. О связи современных геологических процессов с трещинно-ослабленными зонами//Изменение геологической среды и их прогноз. – Новосибирск. – 1985. – С.85 – 92
47. Джурик В.И., Серебrenников С.П., Дреннов А.Ф., Юшкин В.И., Баскаков В.С., Ескин Ю.И. Динамика сейсмических воздействий для участков строительства инженерных сооружений трассы нефтепровода при деградации мерзлоты: Материалы. Двенадцатое совещание географов Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток : ДЮ РА, 2004. – С.138
48. Джурик В.И. К районированию сейсмической опасности территории г. Иркутска / В.И. Джурик [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2011. – Т.4, №2. – С.61–82.
49. Джурик В.И. Методика районирования сейсмической опасности приграничных территорий Монголо-Сибирского региона (на примере района г. Эрдэнэт) / В.И. Джурик [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». – 2012. – Т.5, №1. – С.118–142.
50. Джурик В.И. Прогноз скоростей V и S – волн при изменении состояния грунтов//Кн. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность. – М.: Наука, 1988. – С. 168 – 184.
51. Джурик В.И. Формирование исходных акселерограмм сильных землетрясений для твердых грунтов территории г. Улаанбаатара / В.И. Джурик [и др.] // Труды V Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике – Иркутск, 2005 – С.12-14.
52. Джурик В.И., Дреннов А.Ф., Басов А.Д. Прогноз сейсмических воздействий в условиях криолитозоны // Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000. -200с.

53. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., Юшкин В.И., Ескин А.Ю. Опыт инженерно-сейсмологической оценки строительства нефтепровода на севере оз. Байкал//ГеоИнжиниринг. – 2006. – №2. – С.34 – 38
54. Джурик В.И., Серебренников С.П., Брыжак Е.В., Дреннов А.Ф., Ескин А.Ю. Методика формирования исходного сейсмического сигнала с целью районирования сейсмической опасности городских агломераций (на примере г. Иркутска) // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 96–110.
55. Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю. Оценка экстремальных инженерно-сейсмологических особенностей строительства золошлакоотвалов Благовещенской ТЭЦ: Тез. докл. Пятая Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию с международным участием. – М.: МГУ, 2003. – С.32
56. Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю., Усынин Л.А. Результаты комплексной оценки вероятностных параметров сейсмической опасности для урбанизированных территорий Монголо-Сибирского региона//Вестник ИрГТУ. – 2008. – №4. – С.30 – 36
57. Джурик В.И., Серебренников С.П., Юшкин В.И., Ескин А.Ю. Режимные исследования динамики физических характеристик пород в криолитозоне//Кн. «Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии». – 2005. – Вып.2. – С.119 – 128
58. Джурик В.И., Серебренников С.П., Юшкин В.И., Чипизубов А.В., Баскаков В.С., Ескин А.Ю. Методика комплексных исследований сейсмогрунтовых условий строительства нефтепровода на севере оз. Байкал//Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2005. – № 5. – С. 16 – 20
59. Добрынина А.А., Чечельницкий В.В., Саньков В.А. Сейсмическая добротность литосферы юго-западного фланга Байкальской рифтовой системы // Геология и геофизика, 2011, т.52, №5, с. 712-724.
60. Дреннов А.Ф., Джурик В.И., Дреннова Н.Н. Оценка сейсмических воздействий Байкальской рифтовой зоны // Вопросы инженерной сейсмологии, 2009, т.36, № 46, с.42–52.
61. Дреннов А.Ф., Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннова Н.Н. Влияние верхней зоны разреза на амплитудно-частотный состав сейсмического сигнала на примере сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья. //Сейсмические приборы. 2010, т.46, №2, с.48-58.

62. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М: Наука, 2009. 352 с.
63. Иванова Е.В., Перваго Т.В., Кузьмин В.В. Влияние подземных коммуникаций на результаты электроразведочных исследований//Вестник Московского Университета. – 1992. – серия 4. – Геология. – №3. – С.82 – 85
64. Инженерно-сейсмологические и геофизические исследования при инженерных изысканиях для строительства: Сб. ст./Госстрой СССР. Произв. и НИИ институт по инженерным изысканиям в строительстве/Отв. ред. Зыков Ю.Д., Федоров С.А.; АН СССР. – М.: Наука, 1987. – 127 с.
65. Инструкция по электроразведке. – М.: Госгеолтехиздат., 1961. – 152 с.
66. Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири / Ред. А.Г., Золотарев, П.М. Хренов// Мингео СССР, 1981 – 160 с.
67. Карта общего сейсмического районирования территории Российской федерации. Масштаб 1:8 000000. – М: Министерство науки и технологий РФ, ОИФЗ им. О. Ю. Шмидта, 1999. – 57 с.
68. Карта разломов юга Восточной Сибири / Ред. П.М. Хренов // Мингео СССР, 1988.
69. Кезди А. Руководство по механике грунтов. Том 4. Применение механики грунтов в практике строительства. – М.: Стройиздат, 1978. – 238 с.
70. Кобранова В.Н., Извеков Б.И., Пацевич С.Л., Шварцман М.Д. Определение петрофизических характеристик по образцам. – М.: Недра, 1977. – 432 с.
71. Копничев Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М., Наука, 1985. 176 с.
72. Крамынин П.И. Оценка сейсмических воздействий в эпицентральных зонах сильных землетрясений. Махачкала, ИП Овчинников, 2009, 279с.
73. Красников Н.Д. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с.
74. Леви К.Г., В.С. Хромовских, В.М. Кочетков и др. Современная геодинамика: сеймотектоника, прогноз землетрясений, сейсмический риск (фундаментальные и прикладные аспекты) (Статья II). // Литосфера Центральной Азии / Под ред. Логачева Н.А. Новосибирск: Наука, 1996, с. 150-182.
75. Любушкин А.А. (мл.) Многомерный анализ временных рядов систем геофизического мониторинга//Физика Земли. – 1993. – №3. – С.103 – 108
76. Ляховицкий Ф. М., Хмелевской В.К., Ященко З.Г. Инженерная геофизика. – М.: Недра, 1989. – 252 с.

77. Марпл С.Л. мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.
78. Матвеев Б.К. Электроразведка. – М.: Недра, 1990. – 368 с.
79. Махдавиан А., Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Параметры сейсмических колебаний в сейсмоактивных зонах Ирана // Физика Земли, 2005, № 2, с. 23–29.
80. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. Госстройиздат, 1962.- 260 с.
81. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64 / МГК АН СССР. М. 1965. 11 с.
82. Мельникова В.И., Гилева Н.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии в 2002 г. Обнинск: ГС РАН, 2008. С.185–195.
83. Мельникова В.И., Гилева Н.А., Масальский О.К., Радзиминович Я.Б., Радзиминович Н.А. Об условиях генерации сильных землетрясений в Южном Байкале // Докл. РАН, 2009, т.429, №3, с.393-397.
84. Мельникова В.И., Гилева Н.А., Радзиминович Н.А. Землетрясения Байкальского региона и скорость сейсмотектонической деформации. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. Обнинск, ГС РАН, 2009б, с. 107-111.
85. Мельникова В.И., Гилева Н.А., Радзиминович Я.Б., Дреннова Н.Н., Радзиминович Н.А. Хойтогольское землетрясение 17 сентября 2003года. // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год, Обнинск, ГС РАН, 2009а, с. 310-325.
86. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Параметры сейсмотектонических деформаций земной коры Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным // Докл. РАН. 2007. Т. 416, № 4. С. 1–3.
87. Методические рекомендации по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений. МДС 22-1. 2004, 48 с.
88. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. - М.: Наука, 1988 - 300 с.
89. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1985. – 183 с.
90. Назаров Г.Н. Скорости распространения продольных и поперечных волн в грунтовых массивах и основные инженерно-геологические характеристики грунтов//Кн. Сейсмическое микрорайонирование. – М.: Наука, 1977. – С.129 – 137
91. Нейгел К., Ивьен Б., Глин Д., Скиннер М., Уотсон К. С# 2005 и платформа .NET 3.0 для профессионалов. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008.

92. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Шебалин, Н.В. Кондорская//. -М.: Наука, 1977.-535 с.
93. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
94. Оценка влияния грунтовых условий на сейсмическую опасность: методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию / В. И. Джурик, В.В Севостьянов, В.А. Потапов и др. – М.: Наука, 1988. – 224 с.
95. Павленко О.В. Изучение характеристик излучения и распространения сейсмических волн на северном Кавказе посредством моделирования акселерограмм зарегистрированных землетрясений // Физика Земли, 2009, №10, с. 38-48.
96. Павленко О.В. Различия региональных характеристик излучения и распространения сейсмических волн на Камчатке и Северном Кавказе // Докл. АН, 2011, т.438, №5, с.687-693.
97. Павленко О.В. Характеристики поглощения сейсмических волн в коре и верхней мантии северного Кавказа // Физика Земли, 2008, №6, с. 52-60.
98. Павлов О.В. Сейсмическая опасность мерзлых грунтов. - Новосибирск: Наука, 1987-230с.
99. Парабучев И.А. Мониторинг процессов взаимодействия гидротехнических сооружений с геологической средой//Инженерная геология. – 1992. – №2. – С.3 – 16
100. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. – М.: Наука, 1965. – 164 с.
101. Пархоменко Э.И. Явления электризации в горных породах. – М.: Наука, 1968. – 255 с.
102. Петухин А.Г., Гусев А.А., Гусева Е.М., Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Зависимость спектра Фурье при колебаниях грунта на Камчатке от магнитуды и расстояния // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки, Петропавлоск-Камчатский, 2004, с.319-334.
103. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. – Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИТТМ , 1997. – 300 с.
104. Радзиминович Н.А. Глубины очагов землетрясений Байкальского региона: обзор. //Физика Земли, 2010, №3, с. 37-51.
105. Радзиминович Я.Б., Гилева Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Тулгутунурское землетрясение 19 января 2004г. // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год, Обнинск, ГС РАН, 2010, с. 272-280
106. Расчетные методы в СМР //Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. М.: Наука, 1998. С. 196-130.

107. Ратникова Л. И. Метод расчета сейсмических волн в тонкослоистых средах. М.: Наука, 1979. 124 с.
108. Ратникова Л.И. Расчет колебаний на свободной поверхности во внутренних точках горизонтально-слоистого поглощающего грунта // Сейсмическое микрорайонирование. – М.: Наука, 1984. С. 116–121.
109. Ратникова Л.И. Расчет смещений на свободной поверхности и во внутренних точках полупространства. М., Наука, 1983, 79с.
110. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений. В кн.: Методы детального изучения сейсмичности, М., Изд-во АН СССР, 1960, №176, с. 75-114.
111. РБ-006-98. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. М.: Госатомнадзор России. 1988. 63 с.
112. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. Госстрой СССР. М.: 1985. 73 с.
113. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмичности: Избр. тр. М.: Наука, 1985. 408 с.
114. РСН 65-87. Сейсмическое микрорайонирование. Требования к производству работ. М: Госстрой РСФСР. 1988. 27 с.
115. Ружич В.В., Семенов Р.М., Мельникова В.И., Смекалин О.П., Алакшин А.М., Чипизубов, А.В., Аржанников С.Г., Емельянова И.А., Демьянович М.Г., Радзиминович Н.А. Геодинамическая обстановка в районе Южно-Байкальского землетрясения 25.02.1999 года и его характеристика // Геология и геофизика, 2002, т.43, №5, с. 470-483.
116. Рященко Т.Г. Анализ инженерно-геологических условий зоны предполагаемых по долине Иркутта и левобережью Ангары в пределах Иркутска//Проблемы оценки и прогноза устойчивости геологической среды г. Иркутска/отв. ред. Р.М. Лобацкая. – Иркутск, 1997. – С. 107 – 111
117. Рященко Т.Г., Данилова Т.Ф., Нетесова Г.Е., Малышева Л.В., Акулова В.В. Инженерно – геологическая оценка мезо-кайнозойских отложений. – Новосибирск: Наука, 1992. – 118 с.
118. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны. М.: Недра, 1972. 292 с.
119. Сейсмическая томография/Под ред. Г.Нолета. – М.: Мир, 1990. – 416 с.
120. Сейсмическое микрорайонирование / отв.ред. О.В. Павлов, В.А. Рогожина. М.: Наука, 1984.
121. Сейсморазведка. Справочник геофизика. – М.: Недра, 1981. – 460 с.
122. Семенов А.С. Электроразведка методом электрического поля. – Л.: Недра, 1980. – 446 с.

123. Серебренников С.П., В.И. Джурик, Юшкин В.И., Ескин А.Ю., Баскаков В.С. Изучение современных и древних деформаций в зонах крупных разломов Сибири и Монголии. Сб. науч. тр. Пятая Российско-Монгольской конференция по астрономии и геофизике. – Иркутск, 2005. – С.22 – 23
124. Серебренников С.П., Джурик В.И., Ескин А.Ю., Юшкин В.И., Баскаков В.С., Дреннов А.Ф. Районирование сейсмической опасности линейных сооружений в зонах сплошного распространения мерзлых грунтов: Сб. науч. тр. «Город прошлое – настоящее – будущее» – Иркутск: ИГТУ, 2004. – С.85 – 90
125. Серебренников С.П., Джурик В.И., Ескин А.Ю., Юшкин В.И., Баскаков В.С., Дреннов А.Ф. Комплексная оценка сейсмической опасности линейных сооружений: Материалы. Всероссийская конференция с международным участием «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов». – Архангельск, 2004. – Т.2. – С.246 – 250
126. СНиП II-7-81*(Актуализированная редакция). Строительство в сейсмических районах. М.: Министерство регионального развития, 2011, 71с.
127. Солоненко А.В. Энергетическая классификация землетрясений Прибайкалья // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Сб. статей, т. 2, М., 1974, с. 174-179.
128. Талобр Ж. Механика горных пород. – М.: ГНТИЛ по горному делу, 1960. – 431 с.
129. Тарасов Б.Г., Дырдин В.В., Иванов В.В., Фокин А.Н. Физический контроль массивов горных пород. – М.: Недра, 1994. – 240 с.
130. Терцаги К., Пек Р. Механика грунтов в инженерной практике. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1958. – 608 с.
131. Уваров А.А. Изучение некоторых физико-механических характеристик грунтов с помощью геофизических методов//Инженерная геология. – М.: Наука, 1984. – №4. – С.126 – 129
132. Федынский В.В. Разведочная геофизика. – М.: Недра, 1967. – 670 с.
133. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Петрофизика. Справочник геофизика. – М.: Недра, 1976. – 527 с.
134. Френкель Я.И. К теории сейсмических и сейсмoeлектрических явлений во влажной почве//Известия АН СССР. Серия географическая и геофизическая. – 1944. – Т.8. – №4. – С.134 – 149
135. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования. – М.: Недра, 1988. – 395 с.

136. Царев А.И., Иващенко И.Н., Малаханов В.В., Блинов И.Ф. Критерии безопасности гидротехнических сооружений как основа контроля их состояния//Гидротехническое строительство. - 1994. – №1. – С.9 – 14
137. Чернов Ю.К. Сильные движения грунта и количественная оценка сейсмической опасности территорий. Ташкент, ФАН, 1989, 296 с.
138. Чернов Ю.К., Соколов В.Ю. Оценка балльности землетрясений по спектру колебаний грунта. // Исследования по сейсмической опасности (Вопросы инженерной сейсмологии). 1988, Вып. 29, с. 42-73.
139. Чипизубов А.В. Палеосейсмодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения по зоне Главного Саянского разлома / А.В. Чипизубов, О.П. Смекалин // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 6. – С. 936–937.
140. Шерман С.И., Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Аптикаев Ф.Ф. Региональные шкалы сейсмической интенсивности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 189 с.
141. Шнеерсон М.Б., Майоров В.В. Наземная невзрывная сейморазведка. – М.: Недра. 1988. – 237 с.
142. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф., Алказ В.Г., Гусев А.А., Ерохин Л.Ю., Заградник И., Кендзера А.В., Коган Л.А., Лутиков А.И., Попова Е.В., Раутиан Т.Г., Чернов Ю.К. Методы оценки сейсмических воздействий // Задание сейсмических воздействий. Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 34, М., Наука, 1993, с. 5–94.
143. Электрическое зондирование геологической среды. Часть 2/Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 200 с.
144. Электроразведка методом сопротивлений/Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 160 с.
145. Электроразведка. Справочник геофизика. – М.: Недра, 1982. – 480 с.
146. Юшкин В.И., Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю. Изучение физических свойств грунтов в различных мерзлотных условиях Восточной Сибири: Материалы. Всероссийское совещание «Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты». – Иркутск, 2005. – Вып.3. – С.359 – 361
147. Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л. Электроразведка. – М.: Недра, 1982. – 380 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРОГРАММНЫЙ КОД

Графическая оболочка, повышающая эффективность расчётных методов оценки влияния грунтовых условий на сейсмический сигнал

Processing.cs

```
using System;
using System.Diagnostics;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections.Generic;
using System.Collections;
using System.Text;
using System.IO;
using System.Security.Principal;
namespace AutoSeismo
{
    public delegate void MyEventHandler(string s);
    public class Processing
    {
        Process[] myProcesses;
        Excel.Application excelapp;
        string file;
        ArrayList files;
        // Process int_1;
        Process formrat_2;
        Process rat_3;
        Process bpf_2;
        Process bpf_3;
        Process bpf_4;
        string[] str_zsr;
        string[] str_zfr;
        string[] str_zsu;
        string[] str_zsw;
        string[] str_zum;
        string[] str_bpfff;
        string[] str_bpfosr_zsr;
        string[] str_bpfosr_zsu;
        string[] str_bpfosr_zsw;
        string[] withkoef;
        double koef;
        bool start_formrat2 = false;
        bool start_rat3 = false;
        bool start_bpf2 = false;
        bool start_bpf3 = false;
        bool start_bpf4 = false;
        double max_u;
        int max_i;
        public event MyEventHandler SomeEvent;
```

```

public void stop()
{
    if ((start_formrat2 == true) && (!formrat_2.HasExited))
        formrat_2.Kill();
    if ((start_rat3 == true) && (!rat_3.HasExited))
        rat_3.Kill();
    if ((start_bpf2 == true) && (!bpf_2.HasExited))
        bpf_2.Kill();
    if ((start_bpf3 == true) && (!bpf_3.HasExited))
        bpf_3.Kill();
    if ((start_bpf4 == true) && (!bpf_4.HasExited))
        bpf_4.Kill();
}
public Processing(ArrayList files)
{
    this.files = files; //Ссылка
    try
    {
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zum.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsw.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsu.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsr.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zfr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\rout.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\rin.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\inte1_in");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\form_in");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-SP.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FZSP.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FZPR.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FSG.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FF.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-A.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\bpf.in");
    }
    catch (IOException excOb)
    {
        MessageBox.Show(excOb.Message + "g");
    }
    //File.WriteAllText(Application.StartupPath + "\\bpf.in", "zsr.out\r\n1024
0.02000\r\n0000.50000 20.00000\r\n(1E16.4)\r\n1\r\n");
    //File.WriteAllText(Application.StartupPath + "\\bpf.in", "zsr.out\r\n1024
0.02000\r\n0000.50000 20.00000\r\n(1E11.4)\r\n1\r\n");
    File.WriteAllText(Application.StartupPath + "\\bpf.in", "zsr.out\r\n1024
0.02000\r\n0000.25000 0.500000\r\n(1E16.4)\r\n1\r\n");
    formrat_2 = new Process();
    formrat_2.StartInfo.WorkingDirectory = Application.StartupPath;
    //formrat_2.Exited += new EventHandler(rat3_Start);
    //formrat_2.EnableRaisingEvents = true;
    formrat_2.StartInfo.FileName = Application.StartupPath + "\\form.exe";
}

```

```

formrat_2.StartInfo.WindowStyle = ProcessWindowStyle.Hidden;
rat_3 = new Process();
rat_3.StartInfo.WorkingDirectory = Application.StartupPath;
rat_3.StartInfo.FileName = Application.StartupPath + "\\rat2.exe";
rat_3.StartInfo.WindowStyle = ProcessWindowStyle.Hidden;
bpf_2 = new Process();
bpf_2.StartInfo.WorkingDirectory = Application.StartupPath;
bpf_2.StartInfo.FileName = Application.StartupPath + "\\bpf2.exe";
bpf_2.StartInfo.WindowStyle = ProcessWindowStyle.Hidden;
bpf_3 = new Process();
bpf_3.StartInfo.WorkingDirectory = Application.StartupPath;
bpf_3.StartInfo.FileName = Application.StartupPath + "\\bpf2.exe";
bpf_3.StartInfo.WindowStyle = ProcessWindowStyle.Hidden;
bpf_4 = new Process();
bpf_4.StartInfo.WorkingDirectory = Application.StartupPath;
bpf_4.StartInfo.FileName = Application.StartupPath + "\\bpf2.exe";
bpf_4.StartInfo.WindowStyle = ProcessWindowStyle.Hidden;
}
public void run()
{

// Returns array containing all instances of Notepad.
myProcesses = Process.GetProcessesByName("Excel");
if (myProcesses.GetLength(0) != 0)
{
    MessageBox.Show("Программа начинает работу с сервером автоматизации Excel.
Закройте все приложения Excel.");
    SomeEvent("end");
}
excelapp = new Excel.Application();
foreach (FileInfo currFile in files)
{
    file = currFile.Name.ToString();
    try
    {
        if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + file + ".k"))
        {
            withkoef = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\in\\" + file);
            koef = Convert.ToDouble(File.ReadAllText(Application.StartupPath +
"\\parmodel\\" + file + ".k"));
            for (int i = 0; i < 1024; i++)
            {
                withkoef[i] = Convert.ToString(Convert.ToDouble(withkoef[i].Replace(".",
",")) * koef).Replace(",", "."));
            }
            File.WriteAllLines(Application.StartupPath + "\\form_in", withkoef);
        }
        else
            File.WriteAllText(Application.StartupPath + "\\form_in",
File.ReadAllText(Application.StartupPath + "\\in\\" + file).Replace(",", "."));
//File.Copy(Application.StartupPath + "\\in\\" + file, Application.StartupPath +
"\\form_in", true);

```

```

        File.Copy(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + file, Application.StartupPath
+ "\\rin.txt", true);
        Event("2");
        start_formrat2 = true;
        formrat_2.Start();
        formrat_2.WaitForExit();
        Event("3");
        start_rat3 = true;
        rat_3.Start();
        rat_3.WaitForExit();
        File.Copy(Application.StartupPath + "\\form_in", Application.StartupPath +
"\\zsr.out", true);
        str_zsr = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\form_in");
        Event("4");
        start_bpf2 = true;
        bpf_2.Start();
        bpf_2.WaitForExit();
        Event("5");
        str_bpfosr_zsr = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\bpf-osr.out");
        File.Delete("bpf-osr.out");
        File.Copy(Application.StartupPath + "\\zsu.out", Application.StartupPath +
"\\zsr.out", true);
        start_bpf3 = true;
        bpf_3.Start();
        bpf_3.WaitForExit();
        Event("6");
        str_bpfosr_zsu = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\bpf-osr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\bpf-osr.out");
        File.Copy(Application.StartupPath + "\\zsw.out", Application.StartupPath +
"\\zsr.out", true);
        start_bpf4 = true;
        bpf_4.Start();
        bpf_4.WaitForExit();
        Event("7");
        str_bpfosr_zsw = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\bpf-osr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\bpf-osr.out");
        write_file();
    }
    catch (IOException excOb)
    {
        MessageBox.Show(excOb.Message);
    }
    catch (FormatException excForm)
    {
        MessageBox.Show("Файл " + file + ":\r\n" + excForm.Message);
    }
}
excelapp.Quit();

// Returns array containing all instances of Notepad.

```



```

myProcesses = Process.GetProcessesByName("Excel");
foreach (Process myProcess in myProcesses)
{
    myProcess.Kill();
}

SomeEvent("end");
}
private void write_file()
{
    Event("8");
    try
    {
        str_zfr = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\zfr.out");
        str_zsu = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\zsu.out");
        str_zsw = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\zsw.out");
        str_zum = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\zum.out");
        str_bpfff = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\bpf-ff.out");
        max_u = Math.Abs(Convert.ToDouble(str_zsu[0].Replace(".", "0,")));
        max_i = 0;
        Excel.Workbook workbook;
        Excel.Sheets excelsheets;
        Excel.Worksheet excelworksheet;
        Excel.Range excelcells;
        if (!File.Exists(Application.StartupPath + "\\pattern"))
        {
            MessageBox.Show("Не найден файл pattern");
            myProcesses = Process.GetProcessesByName("Excel");
            foreach (Process myProcess in myProcesses)
            {
                myProcess.Kill();
            }
            SomeEvent("end");
        }
        workbook = excelapp.Workbooks.Open(Application.StartupPath + "\\pattern",
Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing,
Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing,
Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing,
Type.Missing, Type.Missing);
        excelsheets = workbook.Worksheets;
        excelworksheet = (Excel.Worksheet)excelsheets.get_Item(1);
        excelcells = excelworksheet.get_Range("A1", "N1025").Cells;
        //изменение Excel-документа
        excelcells[1, 2] = "t";
        excelcells[1, 3] = "zum.out";
        excelcells[1, 4] = "zfr.out";
        excelcells[1, 6] = "zsr.out";
        excelcells[1, 7] = "bpf-osr.out";
        excelcells[1, 9] = "zsu.out";
        excelcells[1, 10] = "bpf-osr.out";
        excelcells[1, 12] = "zsw.out";
        excelcells[1, 13] = "bpf-osr.out";
    }
    catch { }
}

```

```

for (int i = 0; i < 1024; i++)
{
    if (Math.Abs(Convert.ToDouble(str_zsu[i].Replace(".", "0,"))) > max_u)
    {
        max_u = Math.Abs(Convert.ToDouble(str_zsu[i].Replace(".", "0,")));
        max_i = i;
    }
    excelcells[i + 2, 2] = Convert.ToString(0.02 * i); //ось времен
    excelcells[i + 2, 6] = str_zsr[i].Replace(".", ",");
    excelcells[i + 2, 9] = str_zsu[i].Replace(".", "0,");
    excelcells[i + 2, 12] = str_zsw[i].Replace(".", "0,");
    if (i < 512)
    {
        excelcells[i + 2, 4] = str_zfr[i].Replace(".", "0,");
        excelcells[i + 2, 3] = str_zum[i].Replace(".", "0,");
        excelcells[i + 2, 7] = str_bpfosr_zsr[i].Replace(".", "0,");
        excelcells[i + 2, 10] = str_bpfosr_zsu[i].Replace(".", "0,");
        excelcells[i + 2, 13] = str_bpfosr_zsw[i].Replace(".", "0,");
    }
}
excelcells[1, 1] = "maxU = ";
excelcells[2, 1] = str_zsu[max_i].Replace(".", "0,");
excelcells[3, 1] = "koef* = ";
if (koef != 0)
    excelcells[4, 1] = koef.ToString();
koef = 0;
workbook.SaveAs(
Application.StartupPath + "\\out\\" + file + ".xls",
workbook.FileFormat, //Формат сохраняемого файла
Type.Missing, //Пароль доступа к файлу до 15 символов
Type.Missing, //Пароль на доступ на запись
Type.Missing, //При true режим только для чтения
Type.Missing, //Создать резервную копию файла при true
Excel.XlSaveAsAccessMode.xlNoChange, //Режим доступа к рабочей книге
Type.Missing, //Способ разрешения конфликтов
Type.Missing, //При true сохраненный документ добавляется
//в список ранее открытых файлов
Type.Missing, //Кодовая страница
Type.Missing, //Направление размещения текста
Type.Missing //Идентификатор ExcelApplication
);
    workbook.Close(Type.Missing, Type.Missing, Type.Missing);
}
catch (IOException exOb)
{
    MessageBox.Show(exOb.Message.ToString());
}

}
private void Event(string str)
{
    if (SomeEvent != null)

```



```

public void add_progr()
{
    //progressBar1.Value++;
}
private void DelProgress_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
    Application.OpenForms[0].Enabled = true;
}
}
}

```

Form1.cs

```

using System;
using System.IO;
using System.Diagnostics;
using Microsoft.VisualBasic.FileIO;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
namespace AutoSeismo
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        object[] colDirIn;
        FileInfo currFile;
        FileSystemWatcher w_in = new FileSystemWatcher();
        FileSystemWatcher w_parmodel = new FileSystemWatcher();
        FileSystemWatcher w_out = new FileSystemWatcher();
        DirectoryInfo dirIn = new DirectoryInfo(Application.StartupPath + "\\in");
        MethodInvoker method;
        System.Collections.ArrayList filesCheck = new System.Collections.ArrayList();
        string[] filenames;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            if (!Directory.Exists(Application.StartupPath + "\\in"))
                Directory.CreateDirectory(Application.StartupPath + "\\in");
            if (!Directory.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel"))
                Directory.CreateDirectory(Application.StartupPath + "\\parmodel");
            if (!Directory.Exists(Application.StartupPath + "\\out"))
                Directory.CreateDirectory(Application.StartupPath + "\\out");
            method = new MethodInvoker(Refresh_dataGridFileList);

            w_in.Path = Application.StartupPath + "\\in";
            w_parmodel.Path = Application.StartupPath + "\\parmodel";
            w_out.Path = Application.StartupPath + "\\out";
            w_in.NotifyFilter = NotifyFilters.LastAccess | NotifyFilters.LastWrite
            | NotifyFilters.FileName | NotifyFilters.DirectoryName;
            w_parmodel.NotifyFilter = NotifyFilters.LastAccess | NotifyFilters.LastWrite
            | NotifyFilters.FileName | NotifyFilters.DirectoryName;
            w_out.NotifyFilter = NotifyFilters.LastAccess | NotifyFilters.LastWrite
            | NotifyFilters.FileName | NotifyFilters.DirectoryName;
        }
    }
}

```

```

w_in.Created += new FileSystemEventHandler(OnChanged);
w_in.Deleted += new FileSystemEventHandler(OnChanged);
w_in.Renamed += new RenamedEventHandler(OnChanged);
w_parmodel.Created += new FileSystemEventHandler(OnChanged);
w_parmodel.Deleted += new FileSystemEventHandler(OnChanged);
w_parmodel.Renamed += new RenamedEventHandler(OnChanged);
w_out.Created += new FileSystemEventHandler(OnChanged);
w_out.Deleted += new FileSystemEventHandler(OnChanged);
w_out.Renamed += new RenamedEventHandler(OnChanged);
w_in.EnableRaisingEvents = true;
w_parmodel.EnableRaisingEvents = true;
w_out.EnableRaisingEvents = true;
Refresh_dataGridFileList();
}
private void OnChanged(object source, FileSystemEventArgs e)
{
    Invoke(method);
}
private void Refresh_dataGridFileList()
{
    dataGridFileList.Rows.Clear();
    colDirIn = dirIn.GetFiles();
    foreach (FileInfo o in colDirIn)
    {
dataGridFileList.Rows.Add(File.Exists(Application.StartupPath+"\\parmodel\\"+o.Name), o,
dirOut(o.Name));
    }
}
string dirOut(string file)
{
    if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\out\\" + file + ".xls"))
        return file + ".xls";
    else
        return String.Empty;
}
private void Del_all()
{
    if (MessageBox.Show("Удалить все файлы?", "Подтверждение удаления",
MessageBoxButtons.YesNo) == DialogResult.No)
        return;
    DelProgress frDelProgress = new DelProgress(dataGridFileList.Rows.Count);
    this.AddOwnedForm(frDelProgress);
    frDelProgress.Show();
    this.Enabled = false;
    for (int i = 0; i < dataGridFileList.Rows.Count; i++)
    {
        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\in\\" +
dataGridFileList.Rows[i].Cells[1].Value.ToString());
        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);
    }
}

```

```

        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
dataGridFileList.Rows[i].Cells[1].Value.ToString());
        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);
        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\out\\" +
dataGridFileList.Rows[i].Cells[2].Value.ToString());
        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);
        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
dataGridFileList.Rows[i].Cells[1].Value.ToString() + ".k");
        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);

        frDelProgress.add_progr();
    }
    dataGridFileList.Rows.Clear();
    frDelProgress.Close();
}
private void Del_file()
{
    if (MessageBox.Show("Удалить файл(ы)?", "Подтверждение удаления",
MessageBoxButtons.YesNo) == DialogResult.No)
        return;

    DelProgress frDelProgress = new DelProgress(dataGridFileList.SelectedRows.Count);
    this.AddOwnedForm(frDelProgress);
    frDelProgress.Show();
    this.Enabled = false;
    for (int i = 0; i < dataGridFileList.SelectedRows.Count; i++)
    {
        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\in\\" +
dataGridFileList.SelectedRows[i].Cells[1].Value.ToString());
        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);
        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
dataGridFileList.SelectedRows[i].Cells[1].Value.ToString());
        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);

        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\out\\" +
dataGridFileList.SelectedRows[i].Cells[2].Value.ToString());
        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);

        currFile = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
dataGridFileList.SelectedRows[i].Cells[1].Value.ToString()+".k");

```

```

        if (currFile.Exists)
            Microsoft.VisualBasic.FileIO.FileSystem.DeleteFile(currFile.FullName,
UIOption.OnlyErrorDialogs, RecycleOption.SendToRecycleBin);

        frDelProgress.add_progr();
    }
    for (int i = 0; i < dataGridFileList.SelectedRows.Count; i++)
    {
        dataGridFileList.Rows.Remove(dataGridFileList.SelectedRows[i]);
    }
    frDelProgress.Close();
}
private void Calculate()
{
    filesCheck.Clear();
    for (int i = 0; i < dataGridFileList.Rows.Count; i++)
    {
        if (Convert.ToBoolean(dataGridFileList.Rows[i].Cells[0].Value))
            filesCheck.Add(dataGridFileList.Rows[i].Cells[1].Value);
        try
        {
            if (dataGridFileList.Rows[i].Cells[2].Value.ToString() != "")
                File.Delete(Application.StartupPath + "\\out\\" +
dataGridFileList.Rows[i].Cells[2].Value.ToString());
            if (dataGridFileList.Rows[i].Cells[1].Value.ToString() != "")
                File.Delete(Application.StartupPath + "\\out\\" +
dataGridFileList.Rows[i].Cells[1].Value.ToString() + ".mu");
        }
        catch (IOException excOb)
        {
            MessageBox.Show(excOb.Message);
            return;
        }
    }
    if (filesCheck.Count != 0)
    {
        Form3 frPr = new Form3(filesCheck);
        Application.OpenForms[0].AddOwnedForm(frPr);
        frPr.Show();
        Application.OpenForms[0].Enabled = false;
    }
    else
        MessageBox.Show("Нечего считать");
}
private void Par_model()
{
    Form2 fParModel = new Form2();
    this.AddOwnedForm(fParModel);
    for (int i = 0; i < dataGridFileList.SelectedRows.Count; i++)
    {
        fParModel.Add_Entering(dataGridFileList.SelectedRows[i].Cells[1].Value);
        fParModel.Text += dataGridFileList.SelectedRows[i].Cells[1].Value.ToString() + ", ";
    }
}

```

```

    }
    for (int i = 0; i < dataGridFileList.Rows.Count; i++)
    {
        if (Convert.ToBoolean(dataGridFileList.Rows[i].Cells[0].Value))
            fParModel.Add_Entered(dataGridFileList.Rows[i].Cells[1].Value);
    }
    fParModel.Text = fParModel.Text.Trim(',',' ');
    fParModel.Show();
    this.Enabled = false;
}
private void Form1_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
    try
    {
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zum.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsw.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsu.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsr.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zfr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\rout.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\rin.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\inte1_in");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\form_in");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-SP.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FZSP.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FZPR.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FSG.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FF.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-A.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\bpf.in");
    }
    catch (IOException excOb)
    {
        MessageBox.Show(excOb.Message);
    }
}
private void Add_file()
{
    openFileDialog.ShowDialog();
}
private void openFileDialog_FileOk(object sender, CancelEventArgs e)
{
    try
    {
        filenames = openFileDialog.FileNames;
        foreach (string file in filenames)
        {
            currFile = new FileInfo(file);
            if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\in\\" + currFile.Name))
            {

```



```

        if (MessageBox.Show("Файл с именем " + currFile.Name + "
существует.\r\nПерезаписать?", "", MessageBoxButtons.YesNo) == DialogResult.Yes)
        {
            File.Copy(currFile.FullName, Application.StartupPath + "\\in\\" +
currFile.Name, true);
        }
    }
    else { File.Copy(currFile.FullName, Application.StartupPath + "\\in\\" +
currFile.Name); }
    }
}
catch (IOException exOb) { MessageBox.Show(exOb.Message.ToString()); };
}
private void mnuAddFile_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Add_file();
}
private void mnuDel_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Del_file();
}
private void mnuDelAll_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Del_all();
}
private void mnuParam_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Par_model();
}
private void mnuCalc_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Calculate();
}
private void mnuExit_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Application.Exit();
}
private void toolAdd_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Add_file();
}
private void toolDelAll_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Del_all();
}
private void toolCalc_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Calculate();
}
private void toolParam_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Par_model();
}

```

```

    }
    private void toolDelFile_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        this.Del_file();
    }
    private void dataGridFileList_CellDoubleClick(object sender, DataGridViewCellEventArgs
e)
    {
        if ((e.ColumnIndex != -1) && (e.RowIndex != -1))
        {
            if (dataGridFileList.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString() != "")
            {
                if (e.ColumnIndex == 2)
                    Process.Start(Application.StartupPath + "\\out\\" +
dataGridFileList.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString());
            }
        }
        if ((e.ColumnIndex == 0) && File.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
dataGridFileList.Rows[e.RowIndex].Cells[1].Value.ToString()))
            dataGridFileList.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value =
!(bool)dataGridFileList.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value;
    }
    private void mnuExport_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        FileInfo FileExp;
        if (folderDialog.ShowDialog() == DialogResult.OK)
            MessageBox.Show(dataGridFileList.SelectedRows[0].Cells[1].Value.ToString());
        for (int i = 0; i < dataGridFileList.SelectedRows.Count; i++)
        {
            FileExp = new FileInfo(Application.StartupPath + "\\in\\" +
dataGridFileList.SelectedRows[i].Cells[1].Value);
            File.Copy(FileExp.FullName, folderDialog.SelectedPath + "\\" + FileExp.Name);
            File.Copy(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + FileExp.Name,
folderDialog.SelectedPath + "\\" + FileExp.Name.Replace(FileExp.Extension, "") +
"_model.txt");
            File.Copy(Application.StartupPath + "\\out\\" + FileExp.Name + ".xls",
folderDialog.SelectedPath + "\\" + FileExp.Name.Replace(FileExp.Extension, "") +
"_result.xls");
        }
    }
}
}

```

Form2.cs

```

using System;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections;
using System.IO;
namespace AutoSeismo
{
    public partial class Form2 : Form
    {
        string path;
    }
}

```

```

string strTemp;
string content;
string content_d;
ArrayList listEntering = new ArrayList();
public Form2()
{
    InitializeComponent();
}
public void Add_Entered(object o)
{
    listEntered.Items.Add(o);
}
public void Add_Entering(object o)
{
    listEntering.Add(o);
}
private void btnOK_Click(object sender, EventArgs e)
{
    strTemp = "";
    content = "";
    content_d = "";
    if (dataGridModel.Rows.Count == 0)
    {
        MessageBox.Show("Добавьте слои");
        return;
    }
    content = content + "model\r\n ";
    if (dataGridModel.Rows.Count < 10)
        content = content + "0" + dataGridModel.Rows.Count.ToString();
    else
        content = content + dataGridModel.Rows.Count.ToString();
    content = content + " 1 2 10\r\n 1024 0.02000\r\n ";
    for (int i = 0; i < dataGridModel.Rows.Count; i++)
    {
        for (int j = 1; j < dataGridModel.Columns.Count; j++)
        {
            try
            {
                if (!(i == dataGridModel.Rows.Count - 1) && (j ==
dataGridModel.Columns.Count - 1))
                {
                    Convert.ToDouble(dataGridModel.Rows[i].Cells[j].Value.ToString());
                    strTemp = dataGridModel.Rows[i].Cells[j].Value.ToString().Replace(",", ".");
                    if (j != 1)
                        content = content + strTemp + " ";
                    else
                    {
                        if ((i != 0) && (i % 4 == 0))
                            content_d = content_d.TrimEnd(' ') + "\r\n ";
                        content_d = content_d + strTemp + " ";
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

else
{
    if ((dataGridModel.Rows[dataGridModel.Rows.Count -
1].Cells[dataGridModel.Columns.Count - 1].Value != null))
    {
        if ((dataGridModel.Rows[dataGridModel.Rows.Count -
1].Cells[dataGridModel.Columns.Count - 1].Value.ToString() != ""))
        {
            dataGridModel.Rows[dataGridModel.Rows.Count -
1].Cells[dataGridModel.Columns.Count - 1].Value = "";
            MessageBox.Show("Н последнего слоя не заполняется! Поэтому
удалено");
        }
    }
}
}
catch
{
    MessageBox.Show("Ошибка ввода");
    return;
}
}
content = content.TrimEnd(' ');
content = content + "\r\n ";
}
content = content + "2.00000" + "\r\n ";
content_d = content_d + "\r\n ";
if (dataGridModel.Rows.Count <= 4)
{
    content_d = content_d + "0.00000 " + "\r\n ";
}
else
{
    for (int i = 0; i < dataGridModel.Rows.Count; i++)
    {
        content_d = content_d + "0.00000 ";
        if ((i != 0) && ((i+1) % 4 == 0))
            content_d = content_d + "\r\n ";
    }
    if (dataGridModel.Rows.Count % 4 != 0)
        content_d = content_d + "\r\n ";
}
strTemp = "";
strTemp = Convert.ToString(2 *
Convert.ToDouble(dataGridModel.Rows[dataGridModel.Rows.Count - 1].Cells[3].Value));
strTemp = strTemp.Replace(",", ".");
if (strTemp.IndexOf(".") == -1)
    strTemp = strTemp + ".";
strTemp = strTemp.PadRight(7, '0');
content_d = content_d + strTemp + "\r\n " + "1.000";
foreach (object o in listEntering)
{

```

```

path = Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + o.ToString();
File.Delete(path);
File.WriteAllText(path, content + content_d);
File.Delete(path+".k");
if (txtKoef.Text != String.Empty)
{
    try
    {
        if (txtKoef.Text != "")
        {
            Convert.ToDouble(txtKoef.Text);
            File.WriteAllText(path + ".k", txtKoef.Text);
        }
    }
    catch
    {
        MessageBox.Show("Ошибка ввода");
        return;
    }
}
strTemp = "";
content = "";
content_d = "";
Application.OpenForms[0].Enabled = true;
this.Close();
}
private void Form2_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
    Application.OpenForms[0].Enabled = true;
}
private void btnAddRow_Click(object sender, EventArgs e)
{
    dataGridModel.Rows.Add();
    dataGridModel.Rows[dataGridModel.Rows.Count - 1].Cells[0].Value =
dataGridModel.Rows.Count;
}
private void btnDelRow_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (dataGridModel.SelectedCells.Count != 0)
    {
dataGridModel.Rows.Remove(dataGridModel.Rows[dataGridModel.SelectedCells[0].RowIndex
]);
        for (int i = 0; i < dataGridModel.Rows.Count; i++)
        {
            dataGridModel.Rows[i].Cells[0].Value = i + 1;
        }
    }
}
private void dataGridModel_CellEndEdit(object sender, DataGridViewCellEventArgs e)
{

```

```

        if (dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value != null)
        {
            dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value =
dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().Replace(" ", "");
            dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value =
dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().Replace(".", ",");
            if
(dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().Substring(0, 1) ==
",")
                dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value = "0" +
dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString();
            dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value =
dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().PadRight(7, '0');

            try
            {
                if (dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString() !=
"")
                {
                    Convert.ToDouble(dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString());
                }
            }
            catch
            {
                MessageBox.Show("Ошибка ввода");
                return;
            }
            if (dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().Length
> 7)
            {
                MessageBox.Show("Не более 7 символов!");
                dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value =
dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().Substring(0, 7);
            }
            dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value =
dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().Trim(',');
            if
(dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value.ToString().IndexOf(',') == -1)
            {
                MessageBox.Show("Отсутствует запятая!");
                dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].Value =
Convert.ToDouble(Convert.ToString(dataGridModel.Rows[e.RowIndex].Cells[e.ColumnIndex].
Value).Substring(0, 6)) / 100000;
            }
        }
    }
}
private void Read_file(ArrayList arr)
{
    int Hash_file;
    string koef = "";
    if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\paramodel\\" + arr[0].ToString() + ".k"))

```

```

        koef = File.ReadAllText(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + arr[0].ToString()
+ ".k");
    foreach (object o in arr)
    {
        if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + o.ToString() + ".k"))
        {
            if (koef != File.ReadAllText(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
o.ToString() + ".k"))
                koef = "";
        }
    }
    txtKoef.Text = koef;
    koef = null;
    if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + arr[0].ToString()))
    {
        Hash_file = File.ReadAllText(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
arr[0].ToString()).GetHashCode();

        foreach (object o in arr)
        {
            if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + o.ToString()))
            {
                if (Hash_file != File.ReadAllText(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
o.ToString()).GetHashCode())
                    return;
            }
            else { return; }
        }
        try
        {
            dataGridModel.Rows.Clear();
            string[] str = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
arr[0].ToString());
            string arr_in_str;
            int counter = 0;
            int counter2 = 0;
            arr_in_str = str[1].Substring(3, 2);
            int num_layers = Convert.ToInt32(arr_in_str);
            dataGridModel.Rows.Add(num_layers);
            for (int i = 0; i < num_layers; i++)
            {
                dataGridModel.Rows[i].Cells[0].Value = i + 1;
                dataGridModel.Rows[i].Cells[1].Value = str[(counter2 / 4) + 4 +
num_layers].Substring(3 + 10 * counter, 7).Replace(".", ",");
                counter++;
                counter2++;
                if (counter2 % 4 == 0)
                    counter = 0;
                for (int j = 0; j < 4; j++)
                {
                    if (!(i == num_layers - 1) && (j == 3))

```

```

        dataGridModel.Rows[i].Cells[j + 2].Value = str[i + 3].Substring(3 + 10 *
j, 7).Replace(".", ",");
    }
}
}
}
catch { MessageBox.Show("Ошибка чтения файла!"); }
}
}
private void Read_file(string name)
{
    try
    {
        txtKoef.Text = "";
        if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + name + ".k"))
            txtKoef.Text = File.ReadAllText(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + name +
".k");
        if (File.Exists(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" + name))
        {
            dataGridModel.Rows.Clear();
            string[] str = File.ReadAllLines(Application.StartupPath + "\\parmodel\\" +
name.ToString());
            string arr_in_str;
            int counter = 0;
            int counter2 = 0;
            arr_in_str = str[1].Substring(3, 2);
            int num_layers = Convert.ToInt32(arr_in_str);
            dataGridModel.Rows.Add(num_layers);
            for (int i = 0; i < num_layers; i++)
            {
                dataGridModel.Rows[i].Cells[0].Value = i + 1;
                dataGridModel.Rows[i].Cells[1].Value = str[(counter2 / 4) + 4 +
num_layers].Substring(3 + 10 * counter, 7).Replace(".", ",");
                counter++;
                counter2++;
                if (counter2 % 4 == 0)
                    counter = 0;
                for (int j = 0; j < 4; j++)
                {
                    if (!(i == num_layers - 1) && (j == 3))
                        dataGridModel.Rows[i].Cells[j + 2].Value = str[i + 3].Substring(3 + 10 * j,
7).Replace(".", ",");
                }
            }
        }
    }
    catch { MessageBox.Show("Ошибка чтения файла!"); }
}
private void Form2_Load(object sender, EventArgs e)
{
    Read_file(listEntering);
}
}

```



```

private void listEntered_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    Read_file(listEntered.SelectedItem.ToString());
}
private void btnCancel_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.Close();
}
private void txtKoef_Leave(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        if (txtKoef.Text!="")
            Convert.ToDouble(txtKoef.Text);
    }
    catch
    {
        MessageBox.Show("Ошибка ввода");
    }
}
private void txtKoef_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    txtKoef.Text = txtKoef.Text.Replace(".", "");
    txtKoef.Text = txtKoef.Text.Replace(" ", "");
    txtKoef.Select(txtKoef.Text.Length, 0);
}
}
}

```

Form3.cs

```

using System;
using System.Diagnostics;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections;
using System.Threading;
using System.IO;
namespace AutoSeismo
{
    public partial class Form3 : Form
    {
        Processing pr;
        Thread newThread;
        MethodInvoker method;
        string str1;
        ArrayList thArr;

        public Form3(ArrayList arr)
        {
            InitializeComponent();
            thArr = arr;
            method = new MethodInvoker(progressBar1_add);
            pr = new Processing(thArr);

```

```

pr.SomeEvent += new MyEventHandler(pr_SomeEvent);
newThread = new Thread(new ThreadStart(pr.run));
progressBar1.Maximum = 8*arr.Count;
newThread.Start();
}
private void progressBar1_add()
{
    progressBar1.Value++;

    if (str1 == "end")
    {
        this.Close();
    }
}
void pr_SomeEvent(string str)
{
    str1 = str;
    try { Invoke(method); }
    catch {}
}
private void Form3_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
    pr.stop();
    newThread.Abort();
    try
    {
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zum.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsw.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsu.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsr.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zsr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\zfr.out");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\rout.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\rin.txt");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\inte1_in");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\form_in");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-SP.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FZSP.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FZPR.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FSG.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-FF.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF-A.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\BPF.OUT");
        File.Delete(Application.StartupPath + "\\bpf.in");
    }
    catch (IOException excOb)
    {
        MessageBox.Show(excOb.Message);
    }
    Application.OpenForms[0].Enabled = true;
}
private void btnStop_Click(object sender, EventArgs e)

```

```
{
    Process[] myProcesses = Process.GetProcessesByName("Excel");
    foreach (Process myProcess in myProcesses)
    {
        myProcess.Kill();
    }
    this.Close();
}
private void Form3_Load(object sender, EventArgs e)
{
}
}
```

Программа конвертации файлов из формата «Диоген» в формат XXxx

```
using System;
using System.IO;
namespace Txt2Baikal
{
    class Program
    {
        static void Progress(int total, int now)
        {
            for (int i = 0; i < 50; i++)
                Console.Write("-");
            Console.WriteLine();
            for (int i = 0; i < 50*now/total; i++)
                Console.Write("|");
            Console.Write(" " + Convert.ToInt32(100*(double)now/(double)total) + "% ");
            Console.WriteLine();
            for (int i = 0; i < 50; i++)
                Console.Write("-");
            Console.WriteLine();
        }
        static void Main(string[] args)
        {
            Console.Title = "Txt2Baikal v4";
            //Console.WriteLine(DateTime.Now.Day);
            //Console.Read();
            //Progress(100,49);
            int counter = -1;
            //int counter_of_sample = 0; //счетчик отсчетов
            short kan = 0;
            short tip_test = 0;
            short vers = 1;
            short day;
            short mounth;
            short year;
            short satellit = 0;
            ushort valid = 0;
            short pri_synhr = 0;
            short PAZP = 24;
            short[] reserv_short = new short[6];
            char[] station = {'d','i','o','g',
                'e','n',' ',' ',
                ' ',' ',' ',' ',
                ' ',' ',' ',' '};

            double dt;
            double t0;
            double deltas = 0;
            double Latitude = 0;
            double Longitude = 0;
            double[] reserv_double = new double[2];
            long[] reserv_long = new long[2];
        }
    }
}
```



```

    }
    catch
    {
        Console.WriteLine("Ошибка чтения файла Txt2Baikal.ini!");
        Console.Read();
        return;
    }
    DirectoryInfo dir_in = new DirectoryInfo("in");
    DirectoryInfo dir_out = new DirectoryInfo("out");

    if (!dir_in.Exists)
        dir_in.Create();
    if (!dir_out.Exists)
        dir_out.Create();
    FileInfo[] files_in = dir_in.GetFiles("*.dtx");
    BinaryWriter binWriter = null;
    StreamReader fr = null;
    string[] s;
    foreach (FileInfo file in files_in)
    {
        //FileInfo file_out = new FileInfo("out\\" + file.Name);
        //file_out.Create();
        //File.Create("out\\" + file.Name);
        try
        {
            //binWriter = new BinaryWriter(File.Open("out\\" +
file.Name.Replace(file.Extension, ""), FileMode.Create));
            fr = file.OpenText();
            //StreamWriter sw = new StreamWriter("log.txt");
            Console.Clear();
            Console.WriteLine("Конвертация файла " + file.Name + "\n");
            counter++;
            Progress(files_in.Length, counter);
            Console.WriteLine("\nКоличество отсчетов: " + fr.ReadLine());
            dt = Convert.ToDouble(fr.ReadLine()) / 1000;
            Console.WriteLine("Дискретизация: " + dt);
            s = fr.ReadLine().Split(' ');
            //counter_of_sample++;
            DateTime date = DateTime.Parse(s[0] + " " + s[1]);
            Console.WriteLine("День: " + date.Day);
            Console.WriteLine("Месяц: " + date.Month);
            Console.WriteLine("Год: " + date.Year);
            Console.WriteLine("Время начала записи: " + date.TimeOfDay);
            //Console.WriteLine(File.ReadAllLines(file.FullName).Length);
            t0 = date.Hour * 3600 + date.Minute * 60 + date.Second;
            day = (short)date.Day;
            month = (short)date.Month;
            year = (short)date.Year;
            binWriter =
                new BinaryWriter(File.Open("out\\" + year.ToString() + "_" +
month.ToString().PadLeft(2, '0') + "_" + day.ToString().PadLeft(2, '0') + "_" +

```

```

date.Hour.ToString().PadLeft(2, '0') + "_" + date.Minute.ToString().PadLeft(2, '0') + "_" +
date.Second.ToString().PadLeft(2, '0'), FileMode.Create));
//заполнение главного заголовка
binWriter.Write(kan);
binWriter.Write(tip_test);
binWriter.Write(vers);
binWriter.Write(day);
binWriter.Write(mounth);
binWriter.Write(year);
binWriter.Write(satellit);
binWriter.Write(valid);
binWriter.Write(pri_synhr);
binWriter.Write(PAZP);
for (int i = 0; i < reserv_short.Length; i++)
    binWriter.Write(reserv_short[i]);
for (int i = 0; i < station.Length; i++)
    binWriter.Write(station[i]);
binWriter.Write(dt);
binWriter.Write(t0);
binWriter.Write(deltas);
binWriter.Write(Latitude);
binWriter.Write(Longitude);
for (int i = 0; i < reserv_double.Length; i++)
    binWriter.Write(reserv_double[i]);
for (int i = 0; i < reserv_long.Length; i++)
    binWriter.Write(reserv_long[i]);
//заполнение заголовков каналов
for (int i = 0; i < kan; i++)
{
    phis_nom = (short)i;
    binWriter.Write(phis_nom);
    for (int j = 0; j < reserv.Length; j++)
        binWriter.Write(reserv[j]);
    //name_chan[8] = Convert.ToChar((i+1).ToString());
    for (int j = 0; j < S_name_ch[i + 1].Length; j++)
        name_chan[j] = S_name_ch[i + 1][j];
    for (int j = 0; j < name_chan.Length; j++)
    {
        binWriter.Write(name_chan[j]);
    }
    for (int j = 0; j < tip_dat.Length; j++)
        binWriter.Write(tip_dat[j]);
    binWriter.Write(koef_chan);
    binWriter.Write(calcfreq);
}
//Console.WriteLine(file.Length - binWriter.BaseStream.Position);
//fr.Close();
//закончили заполнение заголовка
/*for (int i = 0; i < kan; i++)
{
    StreamReader fr2 = file.OpenText();
    fr2.ReadLine();
}

```

```

        fr2.ReadLine();
        while (!fr2.EndOfStream)
        {
            s = fr2.ReadLine().Split(' ');
            binWriter.Write(Convert.ToInt32(s[2]));
        }
        fr2.Close();
    }*/
    //counter_of_sample++;
    for (int i = 0; i < kan; i++)
    {
        binWriter.Write(Convert.ToInt32(s[Convert.ToInt32(S_numb_chan[i + 1]) + 1]));
        //sw.Write(s[i + 2] + " ");
    }
    //sw.WriteLine();
    while (!fr.EndOfStream)
    {
        s = fr.ReadLine().Split(' ');
        //counter_of_sample++;
        //counter_of_sample++;
        for (int i = 0; i < kan; i++)
        {
            binWriter.Write(Convert.ToInt32(s[Convert.ToInt32(S_numb_chan[i+1]) +
1]));
            //sw.Write(s[i + 2] + " ");
        }
        //sw.WriteLine();
    }
    //Console.WriteLine(counter_of_sample);
    //Console.Read();
}
catch
{
    files = files + file.Name + "\r\n";
}
finally
{
    fr.Close();
    if (binWriter != null)
        binWriter.Close();
}
}
Console.Clear();
Console.WriteLine("Конвертация завершена!\n");
Progress(100, 100);
Console.WriteLine();
if (files != "")
    Console.Write("Ошибка при обработке следующих файлов:\r\n" + files);
Console.Read();
}
}
}

```


Программа обработки сейсмограмм по методу преломленных волн

```
From1.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO;
using System.Collections;
using System.Timers;
namespace Seg_Y_SEE
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        float[] points; // массив первых вступлений
        string fileName; // имя файла SEG_Y
        double sample1, sample2; //соседние отсчеты соединяемые линией
        int koeff = 1; //коэффициент увеличения
        double[,] traces; //двумерный массив трасс
        int num_of_trace; //количество трасс
        int num_of_sample; // количество отсчетов в трассе
        double max, min; //максимум и минимум в трассе
        float dx; //расстояние между отсчетами в координатах pictureBox
        float dy; //расстояние между трассами в координатах pictureBox
        string[] files; // файлы SEG-Y в выбранной директории
        int index; //индекс файла в массиве
        Godograf gd;
        double[] hs;
        double[] Vs;
        double[] xt;
        double[] yt;
        double[] x0 = { 0D, 2D, 4D, 6D, 8D, 10D, 12D, 14D, 16D, 18D, 20D, 22D, 24D, 26D,
28D, 30D, 32D, 34D, 36D, 38D, 40D, 42D, 44D, 46D };
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();

            //определяем папку, считываем из нее список файлов
            folderBrowserDialog1.ShowDialog();
            files = Directory.GetFiles(folderBrowserDialog1.SelectedPath, "*.SGY");
            index = 0;
            read_data(files[index]);
        }
        private void read_data(string file)
        {
            fileName = file;
            //открываем файл для чтения
```

```

BinaryReader binReader = new BinaryReader(File.Open(fileName, FileMode.Open));
//определяем длину файла в байтах
long length_of_file = binReader.BaseStream.Length;

//выставляем позицию для считывания
binReader.BaseStream.Seek(3212, SeekOrigin.Begin);
//определяем количество трасс
//3213-3214 (2)
num_of_trace = binReader.ReadInt16();
//Console.WriteLine("{0:D4}-Number of data traces per record (Число трасс в
магнитограмме)", num_of_trace);
binReader.BaseStream.Seek(3220, SeekOrigin.Begin);
//определяем количество отсчетов в трассе
//3221-3222 (2)
num_of_sample = binReader.ReadInt16();
//Console.WriteLine("{0:D4}-Number of samples per data trace for this reel of data
(Длина трассы в дискретах на ленте)", num_of_sample);

//инициализируем двумерный массив для хранения отсчетов всех трасс
traces = new double[num_of_trace, num_of_sample];
//инициализируем двумерный массив для хранения точек первых вступлений
points = new float[num_of_trace];
for (int i = 1; i <= num_of_trace; i++)
{
    //Установка позиции, с которой начинается информация о трассе
    long begin_of_trace = 3600 + (i - 1) * (length_of_file - 3600) / num_of_trace;
    binReader.BaseStream.Seek(begin_of_trace, SeekOrigin.Begin);
    //Установка позиции, с которой начинаются отсчеты
    binReader.BaseStream.Seek(begin_of_trace + 240, SeekOrigin.Begin);
    //записываем отсчеты в массив и определяем максимум и минимум по каждой
трассе
    min = 0; max = 0;
    for (int j = 0; j < 1024; j++)
    {
        traces[i - 1, j] = binReader.ReadSingle();
        if (traces[i-1, j] > max)
            max = traces[i-1, j];
        if (traces[i-1, j] < min)
            min = traces[i-1, j];
    }
    //каждую трассу нормируем к единице
    for (int j = 0; j < num_of_sample; j++)
    {
        if (max>Math.Abs(min))
            traces[i-1, j] = traces[i-1, j] / max;
        else
            traces[i - 1, j] = traces[i - 1, j] / Math.Abs(min);
    }
}
binReader.Close();
}
private void Form1_KeyDown(object sender, KeyEventArgs e)

```

```

{
}
private void pictureBox1_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
{
    //выводим имя файла
    this.Text = fileName;
    //определяем расстояние между отсчетами на области для рисования
    dx = e.Graphics.VisibleClipBounds.Width / (num_of_sample-1);
    //определяем расстояние между трассами на области для рисования
    dy = e.Graphics.VisibleClipBounds.Height / num_of_trace;
    //dy = dy / 2;
    for (int i = 0; i < num_of_trace; i++)
    {
        for (int j = 1; j < num_of_sample; j++)
        {
            //определяем координаты точек и соединяем 2 отчета
            sample1 = koef*traces[i, j - 1];
            if (sample1 > 1.5F) sample1 = 1.5F;
            if (sample1 < -1.5F) sample1 = -1.5F;
            sample2 = koef*traces[i, j];
            if (sample2 > 1.5F) sample2 = 1.5F;
            if (sample2 < -1.5F) sample2 = -1.5F;

            float X1 = (j - 1) * dx;
            float Y1 = Convert.ToSingle(i * dy + (dy / 2) * (1 - sample1));
            float X2 = j * dx;
            float Y2 = Convert.ToSingle(i * dy + (dy / 2) * (1 - sample2));
            e.Graphics.DrawLine(Pens.Black, X1, Y1, X2, Y2);
            /* e.Graphics.DrawEllipse(Pens.Red,X1-0.5F,Y1-0.5F,1,1);
            e.Graphics.DrawEllipse(Pens.Red, X2 - 0.5F, Y2 - 0.5F, 1, 1);*/
            if ((traces[i, j] >= 0) & (traces[i, j - 1] >= 0))
            {
                PointF p1 = new PointF(X1,i*dy+dy/2);
                PointF p2 = new PointF(X1, Y1);
                PointF p3 = new PointF(X2,Y2);
                PointF p4 = new PointF(X2,i*dy+dy/2);
                PointF[] pointsF = {p1,p2,p3,p4};
                e.Graphics.FillPolygon(Brushes.Black, pointsF);
            }
            if ((traces[i, j] < 0) & (traces[i, j - 1] > 0))
            {
                PointF p1 = new PointF(X1, i * dy + dy / 2);
                PointF p2 = new PointF(X1, Y1);
                PointF p3 = new PointF(X1+(X2 - X1)*Y1/(Y1+Y2), i * dy + dy / 2);

                PointF[] pointsF = { p1, p2, p3};
                e.Graphics.FillPolygon(Brushes.Black, pointsF);
            }
            if ((traces[i, j] >= 0) & (traces[i, j - 1] <= 0))
            {

```

```

        PointF p2 = new PointF(X2 - ((X2-X1)*Y2)/(Y2+Y1) , i * dy + dy / 2);
        PointF p3 = new PointF(X2, Y2);
        PointF p4 = new PointF(X2, i * dy + dy / 2);
        PointF[] pointsF = { p2, p3,p4 };
        e.Graphics.FillPolygon(Brushes.Black, pointsF);
    }
}
//отмечаем первые вступления
tBgod.Text = "";
for (int i = 0; i < num_of_trace; i++)
{

    tBgod.Text = tBgod.Text + points[i].ToString()+"\r\n";
    e.Graphics.DrawEllipse(Pens.Red, (points[i]) * dx - 5, (i + 0.5F) * dy - 5, 10, 10);
}
//рисует линии годографа

if (xt != null)
{
    for (int i = 1; i < xt.Length; i++)
    {
        PointF pt1 = new PointF(1000 * dx * (float)yt[i - 1] , dy * (0.5F+(float)xt[i - 1]/2));
        PointF pt2 = new PointF(1000 * dx * (float)yt[i] , dy * (0.5F+(float)xt[i]/2));
        e.Graphics.FillEllipse(Brushes.DarkCyan, pt1.X - 4F, pt1.Y - 4F, 8, 8);
        e.Graphics.FillEllipse(Brushes.DarkCyan, pt2.X - 4F, pt2.Y - 4F, 8, 8);
        e.Graphics.DrawLine(Pens.Blue, pt1, pt2);
    }
}
}
private void pictureBox1_Resize(object sender, EventArgs e)
{

    pictureBox1.Invalidate();

}
private void Form1_Load_1(object sender, EventArgs e)
{
    maskedTextBox1.Text = num_of_sample.ToString();
    this.Activate();
}
private void Form1_Resize(object sender, EventArgs e)
{
    pictureBox1.Width = this.Width - this.Width / 3;
    pictureBox1.Height = this.Height - this.Height / 10;

}
private void trackBarX_Scroll(object sender, EventArgs e)
{
    koeff = trackBarX.Value;
}

```

```

    pictureBox1.Invalidate();
}
private void maskedTextBox1_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (e.KeyChar == 'a')
    {
        num_of_sample = Convert.ToInt32(maskedTextBox1.Text);
        pictureBox1.Invalidate();
    }
}
private void pictureBox1_MouseDown(object sender, MouseEventArgs e)
{
}

}
private void pictureBox1_MouseMove(object sender, MouseEventArgs e)
{
}
private void pictureBox1_MouseUp(object sender, MouseEventArgs e)
{
}
private void Form1_KeyPress(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
}
private void pictureBox1_MouseClick(object sender, MouseEventArgs e)
{
    if (e.Button == MouseButtons.Left)
    {
        //определяет найден ли локальный максимум или минимум
        bool islocal = false;
        //определяем номер трассы
        int i = Convert.ToInt32(Math.Round(e.Y / dy - 0.5));
        //определяем отсчет, от которого ищем по направлению вперед
        int j = Convert.ToInt32(Math.Truncate(Math.Round(e.X / dx)));
        //определяет количество отсчетов от первоначального
        int c = 0;
        /*double sum = 0;
        for (int jj = 0 ; jj<1024;jj++)
        {
            sum = sum + Math.Pow(traces[i,jj],2);
        }*/

        //пока не найден локальный макс(мин)
        while (!islocal)
        {
            //если локальный макс(мин)
            if (((traces[i, j + c] > traces[i, j + c - 1]) & (traces[i, j + c] > traces[i, j + c + 1])) |
                ((traces[i, j + c] < traces[i, j + c - 1]) & (traces[i, j + c] < traces[i, j + c + 1])))
            {
                islocal = true;
            }
        }
    }
}

```

```

        points[i] = j + c;
    }
    c++;
}
pictureBox1.Invalidate();
}
}
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    lBvariants.Items.Clear();
    double[] y = new double[points.Length];
    for (int i = 0; i < points.Length; i++)
    {
        y[i] = (double) points[i]/1000;
    }
    gd = new Godograf(24, Convert.ToInt32(tBsep.Text), x0, y );
    gd.calculate();
    tBresult.Text = "";
    for (int i = 0; i < gd.Errors.Count; i++)
    {
        lBvariants.Items.Add("Error = " + (1000 * (double)gd.Errors[i]).ToString() + " ms");
        tBresult.Text = tBresult.Text + "ERROR " + (1000*(double)gd.Errors[i]).ToString() +
" ms\r\n";
        hs = (double[])gd.hs[i];
        Vs = (double[])gd.Vs[i];
        xt = (double[])gd.xts[i];
        yt = (double[])gd.yts[i];
        for (int j = 0; j < hs.Length; j++)
            tBresult.Text = tBresult.Text + "V=" + Vs[j] + " h=" + hs[j] + "\r\n";
        tBresult.Text = tBresult.Text + "V=" + Vs[Vs.Length - 1] + "\r\n";
        tBresult.Text = tBresult.Text + "\r\n";
    }
}
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    index = index - 1;
    if (index < 0) index = 0;
    read_data(files[index]);
    pictureBox1.Invalidate();
}
private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    index = index + 1;
    if (index >= files.Length) index = files.Length-1;
    read_data(files[index]);
    pictureBox1.Invalidate();
}
private void listBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    int i = lBvariants.SelectedIndex;
    tBresult.Text = "ERROR " + (1000 * (double)gd.Errors[i]).ToString() + " ms\r\n";
    hs = (double[])gd.hs[i];
}

```

```

        Vs = (double[])gd.Vs[i];
        xt = (double[])gd.xts[i];
        yt = (double[])gd.yts[i];
        for (int j = 0; j < hs.Length; j++)
            tBresult.Text = tBresult.Text + "V=" + Vs[j] + " h=" + hs[j] + "\r\n";
        tBresult.Text = tBresult.Text + "V=" + Vs[Vs.Length - 1] + "\r\n";
        tBresult.Text = tBresult.Text + "\r\n";
        pictureBox1.Invalidate();
    }
    private void radioButton1_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
    {
        if (radioButton1.Checked)
        {
            pictureBox1.Width = this.Width - this.Width / 3;
            pictureBox1.Height = (this.Height - this.Height / 10) / 2;
        }
        else if (radioButton2.Checked)
        {
            pictureBox1.Width = (this.Width - this.Width / 3) / 2;
            pictureBox1.Height = this.Height - this.Height / 10;
        }
    }
}
}
}

```

```

Godograf.cs
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Collections;
namespace Seg_Y_SEE
{
    class Godograf
    {
        //количество точек в годографе
        int npoint;
        //количество делителей
        int nsep;
        double t00;

        //коэффициенты прямых
        ArrayList a;
        ArrayList b;
        //скорости скоростей
        double[] V;
        //ГОДОГРАФ экспериментальный
        double[] x0;
        double[] y0;
        //теоретический
        double[] xt;
        double[] yt;
    }
}

```

```

public ArrayList Errors = new ArrayList();
public ArrayList hs = new ArrayList();
public ArrayList Vs = new ArrayList();
public ArrayList xts = new ArrayList();
public ArrayList yts = new ArrayList();
public Godograf(int npoint, int nsep, double[] x0, double[] y0)
{
    this.npoint = npoint;
    this.nsep = nsep;
    this.x0 = x0;
    this.y0 = y0;
}
//ФУНКЦИЯ МНК - на входе индексы точек для которых рассчитываем
//результат - ошибка, коэффициенты а и b
double[] MNK(ArrayList index)
{
    ArrayList x = new ArrayList();
    ArrayList y = new ArrayList();
    double Syx = 0;
    double Sxx = 0;
    double Sy = 0;
    double Sx = 0;
    double a1, a2 = 0;
    double b1, b2 = 0;
    foreach (object o in index)
    {
        x.Add(x0[(int)o]);
        y.Add(y0[(int)o]);
    }
    int n = x.Count;
    double[] error1 = new double[n];
    double[] error2 = new double[n];
    double Error1 = 0, Error2 = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        Syx = Syx + (double)x[i] * (double)y[i];
        Sxx = Sxx + (double)x[i] * (double)x[i];
        Sy = Sy + (double)y[i];
        Sx = Sx + (double)x[i];
    }
    a1 = (Sy - n * Syx / Sx) / (Sx - n * Sxx / Sx);
    b1 = (Syx - a1 * Sxx) / Sx;
    a2 = (Syx - Sx * Sy / n) / (Sxx - Sx * Sx / n);
    b2 = (Sy - a2 * Sx) / n;
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        //Error1 - абсолютная погрешность
        error1[i] = (double)y[i] - (double)a1 * (double)x[i] - b1;
        Error1 = Error1 + Math.Sqrt(error1[i] * error1[i]);
        //Error2 - относительная погрешность
        error2[i] = (Math.Abs((double)y[i] - (double)a2 * (double)x[i] - b2)) /
(Math.Abs((double)a2 * (double)x[i] + b2));
    }
}

```



```

        Error2 = Error2 + error2[i];
    }
    double[] res = { Error1, a2, b2 };
    return res;
}
//Оценивает ошибку, используя MNK, и проверяет выполняются ли условия
//вычисляет скорости и мощности
//nsep - индексы делителей
void evaluate(int[,] sep, int[] nsep, int npoint)
{
    ArrayList seps = new ArrayList();
    ArrayList points = new ArrayList();
    //коэффициенты прямых
    a = new ArrayList();
    b = new ArrayList();
    //скорости, соответствующие этим прямым
    V = new double[nsep.Length + 1];
    double[] t0 = new double[nsep.Length];
    double[] h = new double[nsep.Length];
    bool angle = true;
    bool displ = true;
    double[] resMNK;
    double Error = 0;
    for (int i = 0; i < nsep.Length; i++)
    {
        //Console.Write(sep[i, nsep[i]] + "-");
        seps.Add(sep[i, nsep[i]]);
    }
    //Console.Write(":");
    //Получили массив разделителей seps, ну а здесь считаем
    int counter = 0;
    int j = 0;
    do
    {
        points.Add(counter);
        //Console.Write(counter + "-");
        if ((j != seps.Count && counter == (int)seps[j] - 1) || counter == npoint - 1)
        {
            //Console.Write("/");
            //здесь можно получить прямые
            resMNK = MNK(points);
            Error = Error + resMNK[0];
            a.Add(resMNK[1]);
            b.Add(resMNK[2]);
            points = new ArrayList();
            j++;
        }
        counter = counter + 1;
    } while (counter != npoint);
    for (int i = 1; i < a.Count; i++)
    {

```

```

// Здесь проверка наклона (модуль коэффициента а должен увеличиваться) и знак
совпадать
if ((double)a[i] > (double)a[i - 1] | (Math.Sign((double)a[i]) != Math.Sign((double)a[i -
1])))
    angle = false;
//координата X точки излома должна быть между граничными точками слоев
//посчитали точку пересечения X прямых
double X = ((double)b[i] - (double)b[i - 1]) / ((double)a[i - 1] - (double)a[i]);
double X1 = x0[(int)seps[i - 1] - 1];
double X2 = x0[(int)seps[i - 1]];
if (X < X1 | X > X2)
    displ = false;
}
//если выполняется условие на угол и точку излома
if (angle & displ)
{
//Вычисляем t00 и V0
if (Math.Sign((double)a[0]) == 1)
{
    t00 = (double)b[0];
    V[0] = 1 / (double)a[0];
    for (int i = 1; i < a.Count; i++)
    {
        t0[i - 1] = (double)b[i] - t00;
        V[i] = 1 / (double)a[i];
    }
}
else
{
    t00 = (double)a[a.Count - 1] * x0[x0.Length - 1] + (double)b[b.Count - 1];
    V[0] = Math.Abs(1 / (double)a[a.Count - 1]);
    for (int i = a.Count - 2; i > -1; i--)
    {
        t0[-i + a.Count - 2] = (double)a[i] * x0[x0.Length - 1] + (double)b[i] - t00;
        V[-i + a.Count - 1] = Math.Abs(1 / (double)a[i]);
    }
}
for (int n = 0; n < h.Length; n++)
{
    double sum = 0;
    for (int k = 0; k <= n - 1; k++)
    {
        sum = sum + h[k] * (W(k + 1, n + 1) / W(k, n + 1));
    }
    h[n] = (t0[n] * W(n, n + 1)) / 2 - sum;
}
/*    h[0] = V[1 - 1] * t0[1 - 1] / (2 * Math.Cos(ii(1-1, 2-1)));
if (V.Length > 2)
{
    h[1] = (
        V[2 - 1] / (2 * Math.Cos(ii(2-1,3-1)))

```

```

    )
    * (t0[2 - 1] - t0[1 - 1] * Math.Cos(ii(1-1,3-1)) / Math.Cos(ii(1-1,2-1)));
h[1] = (W(2-1,3-1) / 2)
*
(
t0[2 - 1] - t0[1 - 1] * Math.Cos(ii(1 - 1, 3 - 1)) / Math.Cos(ii(1 - 1, 2 - 1))
);
}*/
double[,] T = new double[V.Length, 24];
for (int n = 0; n < V.Length; n++)
{
    double sum = 0;
    for (int jj = 0; jj <= n - 1; jj++)
    {
        //sum = sum + h[jj] * Math.Sqrt(V[n] * V[n] - V[jj] * V[jj]) / (V[n] * V[jj]);
        //sum = sum + h[jj] * Math.Cos(ii(jj, n)) / V[jj];
        sum = sum + h[jj] / W(jj, n);
    }
    for (int k = 0; k < 24; k++)
    {
        T[n, k] = 2 * k / V[n] + 2 * sum;
    }
}
double min;
ArrayList godo = new ArrayList();
for (int k = 0; k < 24; k++)
{
    min = T[0, k];
    for (int n = 1; n < V.Length; n++)
    {
        if (min > T[n, k])
            min = T[n, k];
    }
    godo.Add(min);
}
Errors.Add(Error);
hs.Add(h);
Vs.Add(V);

```

```

//Находим теоретический годограф ищем точки пересечения и т.д.
xt = new double[a.Count + 1];
yt = new double[a.Count+1];
xt[0] = x0[0];
yt[0] = (double)b[0];
for (int i = 1; i < a.Count; i++)
{
    xt[i] = ((double)b[i]-(double)b[i-1])/((double)a[i-1]-(double)a[i]);
    yt[i] = (double)a[i] * xt[i] + (double)b[i];
}
xt[xt.Length-1] = x0[x0.Length-1];

```

```

        yt[yt.Length - 1] = (double)a[a.Count - 1] * xt[xt.Length-1] + (double)b[b.Count - 1];
        xts.Add(xt);
        yts.Add(yt);
/*      public ArrayList Errors = new ArrayList();
public ArrayList hs = new ArrayList();
public ArrayList Vs = new ArrayList();
public ArrayList xts = new ArrayList();
public ArrayList yts = new ArrayList();*/
        //Сортируем по ошибке
        object temp;
        for (int i = 0; i < Errors.Count; i++)
        {
            for (j = Errors.Count - 1; j > i; j--)
            {
                if ((double)Errors[j - 1] > (double)Errors[j])
                {
                    temp = Errors[j - 1];
                    Errors[j - 1] = Errors[j];
                    Errors[j] = temp;
                    temp = hs[j - 1];
                    hs[j - 1] = hs[j];
                    hs[j] = temp;
                    temp = Vs[j - 1];
                    Vs[j - 1] = Vs[j];
                    Vs[j] = temp;
                    temp = xts[j - 1];
                    xts[j - 1] = xts[j];
                    xts[j] = temp;
                    temp = yts[j - 1];
                    yts[j - 1] = yts[j];
                    yts[j] = temp;
                }
            }
        }
        //h.Add();
        //определяем знак наклона прямой
        //Console.WriteLine("e" + Error + ";" + Math.Sign((double)a[0]));
        //return Error;
    }
/*else
        return double.NaN;*/
    //Console.WriteLine();
}
//вычисляет углы i12 и т.д.
double ii(int k, int n)
{
    return Math.Asin(V[k] / V[n]);
}
//вычисляет приведенную скорость (см. Горяинова)
double W(int k, int n)
{
    return V[k] / Math.Cos(ii(k, n));
}

```

```

}
//проверяет, равны ли элементы массива заданному значению
bool ismax(int[] p, int i1, int i2, int max)
{
    for (int i = i1; i < i2; i++)
    {
        if (p[i] != max)
            return false;
    }
    return true;
}
//Главная функция, использует ismax
public void calculate()
{
    //количество возможных положений делителя(ей)
    int nvar = npoint - 2 * nsep - 1;
    //заполняем массив индексов возможных положений делителя
    //индекс - значение с которого начинается следующий слой
    int[,] sep = new int[nsep, nvar];
    for (int i = 0; i < nsep; i++)
    {
        for (int j = 0; j < nvar; j++)
        {
            sep[i, j] = (i + 1) * 2 + j;
        }
    }
    //ГЕНЕРАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ, В КОТОРОЙ ИНДЕКС >=
    ПРЕДЫДУЩЕМУ
    int nelem = nvar;// количество элементов последовательности (положений делителя)
    int nsubseq = nsep;//количество последовательностей (делителей)
    int[] subseq = new int[nsubseq];
    int cur = nsubseq - 1;
    subseq[cur] = -1;
    while (!ismax(subseq, 0, subseq.Length, nelem - 1))
    {
        subseq[cur]++;
        for (int i = cur; i < nsubseq; i++)
            subseq[i] = subseq[cur];
        for (int i = 0; i < nsubseq; i++)
            if (subseq[i] < nelem - 1) cur = i;
        evaluate(sep, subseq, npoint);
    }
}
}
}

```

Программа конвертации из формата XXxx в формат SAF

Form1.cs

```
using System;
using System.Globalization;
using System.IO;
using System.Diagnostics;
using System.Windows.Forms;
namespace XXxx2my
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        DialogResult result;
        FileInfo file_in;
        System.IO.StreamWriter files_out;
        string line;
        string[] columns;
        char[] sep = { ' ' };
        string files;
        int num_chan;
        int num_of_string;
        int i;
        CultureInfo ci = new CultureInfo("en-US");
        double SAMP_FREQ;
        int NDAT;
        string YEAR, MONTH, DAY, HOUR, MINUTE, SECOND, START_TIME, STA_CODE;
        bool isOBR;
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }
        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            //Console.WriteLine("Программа удаляет заголовок, количество удаляемых строк
            задается пользователем. Каждый столбец (канал) записывается в отдельный файл с
            соответствующим именем. Программа выделяет столбцы в предположении, что они
            разделены пробелами.");
            Console.Write("Программа работает с файлами, которые сохранены в программе
            XXxx посредством команд меню С ЭКРАНА В ТЕКСТ и ИЗ ФАЙЛА В
            ТЕКСТ.\n\nОзнакомьтесь с файлом посредством FArа или иной программы и определите
            количество строк, в которых содержится служебная информация, т.е. не содержатся
            отсчеты.\n\n");
            //Console.Write("Введите количество каналов и нажмите клавишу Enter: ");
            //num_chan = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
            //переменная осталась с предыдущей программы, там надо было каналы в разные
            файлы записывать
            num_chan = 1;
            isOBR = true;
            while (isOBR)
            {
```

```

        Console.WriteLine("Введите посчитанное количество (строк со служебной
информацией) и нажмите клавишу Enter: ");
        num_of_string = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
        files = "";
        this.Activate();
        result = openFileDialog.ShowDialog();
        if (result == DialogResult.OK)
        {
            Console.WriteLine(openFileDialog.FileName);
            file_in = new FileInfo(openFileDialog.FileName);
        }
        try
        {
            //если выбранный файл существует
            if (file_in.Exists)
            {
                //создаем поток для чтения файла
                System.IO.StreamReader file = new System.IO.StreamReader(file_in.FullName,
System.Text.Encoding.Default);
                files = files + file_in.FullName.Substring(0, file_in.FullName.Length -
file_in.Extension.Length) + ".saf";
                FileStream fs = File.Create(files);
                files_out = new StreamWriter(fs);
                int counter = 0;

                //Сначала считываем служебную информацию
                while ((line = file.ReadLine()) != null)
                {
                    counter++;
                    if (counter <= num_of_string)
                    {
                        if (line.IndexOf("дискретизация") >= 0)
                            SAMP_FREQ = 1 / Convert.ToDouble(line.Split(sep,
StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0], ci);
                        if (line.IndexOf("станция") >= 0)
                            STA_CODE = line.Split(sep,
StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];
                        if (line.IndexOf("год") >= 0)
                            YEAR = line.Split(sep, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];
                        if (line.IndexOf("месяц") >= 0)
                            MONTH = line.Split(sep, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];
                        if (line.IndexOf("день") >= 0)
                            DAY = line.Split(sep, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];
                        if (line.IndexOf("час") >= 0)
                            HOUR = line.Split(sep, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];
                        if (line.IndexOf("мин") >= 0)
                            MINUTE = line.Split(sep, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];
                        if (line.IndexOf("сек") >= 0)
                            SECOND = line.Split(sep, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries)[0];
                    }
                }
                NDAT = counter - num_of_string;
            }
        }
    }
}

```

```

        START_TIME = YEAR + " " + MONTH + " " + DAY + " " + HOUR + " " +
MINUTE + " " + SECOND.Substring(0, 5);
        files_out.WriteLine("SESAME ASCII data format (saf) v. 1 (this line must not
be modified)");
        files_out.WriteLine("SAMP_FREQ = " + SAMP_FREQ.ToString());
        files_out.WriteLine("NDAT = " + NDAT.ToString());
        files_out.WriteLine("START_TIME=" + START_TIME.ToString());
        files_out.WriteLine("STA_CODE= " + STA_CODE.ToString());
        files_out.WriteLine("UNITS = mkm");
        files_out.WriteLine("#");
        files_out.WriteLine("CH0_ID = V");
        files_out.WriteLine("CH1_ID = NS");
        files_out.WriteLine("CH2_ID = EW");
        files_out.WriteLine("####-----");
        file = new System.IO.StreamReader(file_in.FullName);
        counter = 0;
        while ((line = file.ReadLine()) != null)
        {
            counter++;
            if (counter > num_of_string)
            {
                columns = line.Split(sep, StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries);
                files_out.WriteLine(columns[2].ToString() + "\t" + columns[0].ToString() +
"\t" + columns[1].ToString());
            }
        }
        //закрываем поток
        file.Close();
        files_out.Close();
        Console.WriteLine("\r\nОбработано " + (counter - num_of_string).ToString() + "
строк.\r\nСозданы следующие файлы:\r\n" + files + "\r\nБудем ещё переформатировать
(Y/N)?");
        if (Console.ReadLine() != "Y") isOBR = false; ;
    }
}
catch (IOException excOb)
{
    MessageBox.Show(excOb.Message);
}
catch (FormatException)
{
    MessageBox.Show("Ошибка форматирования.");
}
/*catch
{
    MessageBox.Show("Неизвестная ошибка");
}*/
}
Application.Exit();
}
}
}

```


Программа создания KML-файлов

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.IO;
namespace ConsoleKML
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            int i = 0;
            File.WriteAllText("out2.kml", File.ReadAllText("title.txt"));
            StreamReader streamReader = new StreamReader("in.events");
            StreamWriter file = new StreamWriter("out2.kml", true);
            while (!streamReader.EndOfStream)
            {
                string[] a = streamReader.ReadLine().Split(',');
                i++;
                file.WriteLine("<Placemark>");
                //file.WriteLine("<name>"+i.ToString()+"</name>");
                /*if ((Convert.ToDouble(a[2]) <= 150) & (Convert.ToDouble(a[2])>70))
                    file.WriteLine("<styleUrl>#green</styleUrl>");
                if ((Convert.ToDouble(a[2]) <= 70) & (Convert.ToDouble(a[2]) > 35))
                    file.WriteLine("<styleUrl>#yellow</styleUrl>");
                if (Convert.ToDouble(a[2]) <= 35)
                    file.WriteLine("<styleUrl>#orange</styleUrl>");*/
                file.WriteLine("<name>"+a[2]+"</name>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 1) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 2))
                    file.WriteLine("<styleUrl>#green</styleUrl>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 2) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 3))
                    file.WriteLine("<styleUrl>#yellow</styleUrl>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 3) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 4))
                    file.WriteLine("<styleUrl>#orange</styleUrl>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 4) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 5))
                    file.WriteLine("<styleUrl>#blue</styleUrl>");
                if (Convert.ToDouble(a[3]) >= 5)
                    file.WriteLine("<styleUrl>#red</styleUrl>");
                file.WriteLine("<Style>");
                file.WriteLine("<IconStyle>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 1) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 2))
                    file.WriteLine("<scale>0.6</scale>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 2) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 3))
                    file.WriteLine("<scale>0.7</scale>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 3) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 4))
                    file.WriteLine("<scale>0.8</scale>");
                if ((Convert.ToDouble(a[3]) >= 4) & (Convert.ToDouble(a[3]) < 5))
                    file.WriteLine("<scale>0.9</scale>");
                if (Convert.ToDouble(a[3]) >= 5)
```

```

        file.WriteLine("<scale>1</scale>");
        file.WriteLine("<heading>0</heading>");
        file.WriteLine("</IconStyle>");
        file.WriteLine("</Style>");
        file.WriteLine("<Point>");
        file.WriteLine("<coordinates>" + a[1].ToString() + "," + a[0].ToString()+
"</coordinates>");
        file.WriteLine("</Point>");
        file.WriteLine("</Placemark>");
    }
    file.WriteLine("</Document>");
    file.WriteLine("</kml>");
    file.Close();
    streamReader.Close();
}
}
}

```

Программа сохранения акселерограмм в формат Excel

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.IO;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections;
namespace ConsoleISCconvert
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            string directory = Application.StartupPath + "\\IRIS_DataCenter";
            DirectoryInfo dir = new DirectoryInfo(directory);
            DirectoryInfo subdir;
            StreamWriter file = new StreamWriter("out.csv",false);
            StreamReader infile;
            ArrayList list = new ArrayList();
            char[] param = new char[1];
            param[0] = '\t';
            int max_length=0;
            int j = 0;
            foreach (var item in dir.GetDirectories())
            { file.Write(item.Name.Remove(0,6) + ",,,"); }
            file.WriteLine(); ;
            foreach (var item in dir.GetDirectories())
            { file.Write("E,N,Z,"); }
            file.WriteLine();
            max_length = 0;
            foreach (var item in dir.GetDirectories())
            {
                subdir = new DirectoryInfo(directory+"\\"+item.Name);
                Console.WriteLine(item.Name);
                foreach (var subitem in subdir.GetFiles())
                {
                    if (subitem.Name.IndexOf("IC.MDJ.10") == -1)
                    {
                        Console.WriteLine(subitem.Name);
                        infile = new StreamReader(subdir.FullName + "\\" + subitem.Name);
                        ArrayList str = new ArrayList();
                        infile.ReadLine();
                        while (!infile.EndOfStream)
                        {
                            // if ((str!=null)&(infile!=null))
                            str.AddRange(infile.ReadLine().Split(param,System.StringSplitOptions.RemoveEmptyEntries));
                            //Console.WriteLine(infile.ReadLine());
                        }
                        if (str.Count > max_length)
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        max_length = str.Count;
        infile.Close();
        list.Add(str);
    }
}
for (int i = 0; i < max_length; i++)
{
    j = 0;
    foreach (ArrayList l in list)
    {
        j++;
        if (l.Count > i + 1)
        {
            //file.Write(Convert.ToString(l[i]));
            if ((j)%3!=0)
                file.Write(Convert.ToString((Convert.ToInt32(l[i + 1]) - Convert.ToInt32(l[i]))
/ (0.05 * 9571400)));
            //file.Write(Convert.ToDouble(l[i])/9571400);
            else
                file.Write(Convert.ToString((Convert.ToInt32(l[i + 1]) - Convert.ToInt32(l[i]))
/ (0.05 * 10305000)));
            //file.Write(Convert.ToDouble(l[i]) / 10305000);
        }
        file.Write(",");
    }
    file.WriteLine();
}
Console.WriteLine(max_length);
file.Close();
Console.ReadLine();
}
}
}

```