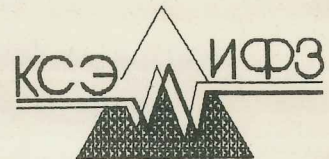
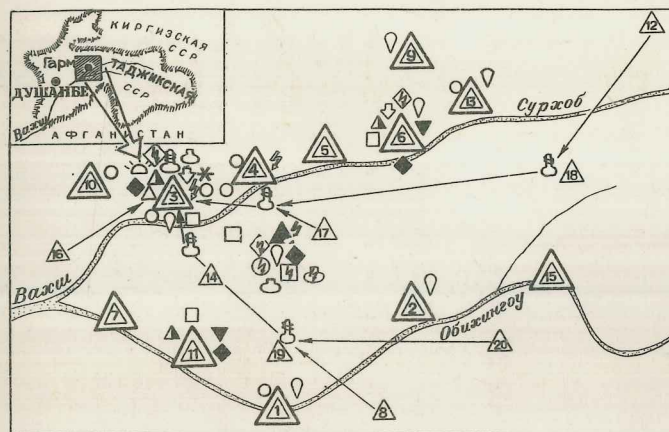


1 21-25 / 17-5
АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ
ИМЕНИ О.Ю. ШМИДТА



Комплексная Сейсмологическая Экспедиция

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ НА ГАРМСКОМ ПОЛИГОНЕ



МОСКВА - ГАРМ
1991

Ф. 2.1

1 91-25

17-5

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТА ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О. Ю. ШМИДТА

КОМПЛЕКСНАЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

НА ГАРМСКОМ ПОЛИГОНЕ

Москва - Гарм

1991

Ф 52

АННОТАЦИЯ

Автоматизированная обработка данных на Гармском геофизическом полигоне.

Излагается методология автоматизации первичной обработки и последующей интерпретации геофизической информации, осуществляемой на Гармском геофизическом полигоне, где проводится стационарные многолетние наблюдения за различными геофизическими параметрами в целях разработки методов прогноза землетрясений. Описывается технология аппаратных решений, обеспечивающих техническую сторону автоматизации. Приводится характеристика обширного комплекса алгоритмов и программ, обеспечивающих автоматизированную обработку данных текущих геофизических наблюдений на ЭВМ. Обсуждается структура баз данных, организованных на машинных носителях и объединенных в единую комплексную систему автоматизированной обработки геофизической информации, представляющую собой объединение подсистем, обслуживающих частные технологии и управляемых единой программой. Дается характеристика математического обеспечения, предназначенного для интерпретации результатов наблюдений и приводятся примеры конкретных решений.

Монография рассчитана на специалистов в области сейсмологии, геофизики, геодезии, интересующихся организацией долговременных наблюдений на геофизических полигонах.

Рис. 47. Табл 15.

Ответственный редактор
Кандидат физико-математических наук

А. Я. СИДОРИН



2010129867

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сейсмологические и другие геофизические наблюдения на Гармском полигоне, расположенном в Таджикистане в пределах зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня, были начаты в 1949 году вскоре после катастрофического землетрясения 10 июля 1949 г., полностью разрушившего районный центр Хаит в северо-восточной части полигона. К 1955 г. на полигоне уже осуществлялся целый комплекс режимных сейсмологических и геофизических наблюдений, нацеленных на разработку методов прогноза сейсмических катастроф. К настоящему времени на полигоне в рамках Комплексной сейсмологической экспедиции Института физики Земли АН СССР (КСЭ ИФЗ АН СССР или просто КСЭ) действует широко разветвленная сеть сейсмологических, геофизических, геодезических и биологических наблюдений, осуществляющих мониторинг различных параметров в целях поиска причинно-следственной связи вариаций их значений во времени с моментами возникновения сильных землетрясений.

За время многолетней стационарной работы этой наблюдательной сети накоплен обширный научный материал, который позволяет строить достаточно протяженные во времени реализации различных параметров и осуществлять их анализ.

Интерпретация этого обширного научного материала сама по себе представляет непростую задачу и требует привлечения средств вычислительной техники. С этой целью в начале 70-х годов в Гармском центре обработки сейсмологической и иной геофизической информации были начаты работы по созданию собственного специализированного вычислительного центра. Первоначально этот центр базировался на сравнительно маломощных ЭВМ МИР-1 и МИР-2, предназначенных, как следует из их аббревиатуры, для инженерных расчетов, которые, тем не менее, позволили организовать автоматизированную обработку первичной сейсмологической информации. Было создано оригинальное математическое обеспечение для ЭВМ, основой которого

является специализированный центр вычислительной системы RSX-11M+, что стимулировало создание оригинального метода обработки и

КНИГА ИМЕЕТ

печатных	Выпуск	В перепл. един. соедин. №№ вып.	Таблиц	Карт	Иллюстр.	Служебн. №№	№№ в списке и порядковый	197 г.
							94	197
							224	34

Настоящая монография посвящена вопросам обработки сейсмической и геофизической информации, получаемой на Гармском геофизическом полигоне Комплексной сейсмологической экспедиции Ордена Ленина Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта [1].

На современном этапе развития систем режимных сейсмологических наблюдений вопросы комплексной обработки и совместного анализа получаемых данных приобретают все большее значение. Возрастающая глубина переработки, наличие огромных массивов первичных данных делают невозможным дальнейшее развитие исследований без все более широкого применения ЭВМ. В этих условиях эффективность использования данных, сопоставимость результатов, полученных на разных полигонах, во многом зависят от адекватности используемого проблемно-ориентированного математического обеспечения решаемым задачам и структурам данных. В данной монографии сделана попытка описать основные алгоритмы и программы, применяемые в процессе обработки первичной сейсмической и геофизической информации на Гармском полигоне.

Работы на полигоне носят в значительной степени поисковый и методический характер, в силу чего многие из применяемых методов обработки также являются поисковыми и их нельзя рассматривать как вполне завершённые. Несмотря на это, мы сочли возможным обобщить уже имеющиеся приемы обработки в расчете на то, что многие из них могут оказаться полезными в работе на других геофизических полигонах страны.

В составлении монографии участвовал большой коллектив сотрудников КСЭ. Раздел 1.1. подготовили Сидорин А. Я. и Халтурин В. И., раздел 1.2. - Турецкий И. М., раздел 1.3. - Юнга С. Л., раздел 2.1. - Кунаков В. Г. и Тарасов Н. Т., раздел 2.2. - Попандопуло Г. А., разделы 2.3. и 3.3. - Лукк А. А. и Юнга С. Л., раздел 3.1. - Рулев Б. Г., раздел 3.2. - Журавлев В. И., Рулев Б. Г. и Тейтельбаум Ю. М., раздел 3.4. - Новикова Е. И., Раутиан Т. Г. и Халтурин В. И., раздел 3.5. - Попандопуло Г. А., раздел 4.1. - Боканенко Л. И., Галаганов О. Н. и Передерин В. П., разделы 4.2.1.-4.2.4. - Дещеревский А. В., Журавлев В. И., Осташевский М. Г., и Сидорин А. Я., раздел 4.2.5. - Завьялов А. Д., Пономарев А. В., и Салов Б. Г., раздел 4.2.6. - Дещеревский А. В., раздел 4.3. - Дещеревский А. В. и Сидорин А. Я. Заключение составлено Лукком А. А., общая редакция текста выполнена Дещеревским А. В. и Лукком А. А.

Глава 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

1.1. Система наблюдений Гармского полигона

Сейсмологические и иные геофизические исследования в Гармском районе были начаты в 1949 г. В начальный период проводились эпизодические экспедиционные наблюдения группой станций, разрабатывалась специальная аппаратура для регистрации слабых землетрясений, опробовались новые способы обработки экспериментальных данных. В 1955 г. в Гармском районе уже работала сеть из 6 сейсмических станций, число которых к 1966 г. было увеличено до 15. В настоящее время на Гармском геофизическом полигоне в рамках Комплексной сейсмологической экспедиции ИФЗ АН СССР (КСЭ) действует 12 стационарных и 9 автоматических радиотелеметрических сейсмических станций (рис. 1).

Стационарные сейсмические станции КСЭ оборудованы трехкомпонентными сейсмографами с сейсмоприемниками СКМ-3М, СМ-3 или С5С. Основная установка для регистрации местных землетрясений имеет три компонента с увеличением около 40000 в частотном диапазоне от 0,5 до 15 Гц, а также заглубленные каналы: сейсмограф СКМ-3М или СМ-3 с увеличением 4000, сейсмограф С5С с увеличением 400 и 40. Скорость развертки на сейсмограммах составляет 120 мм/мин, что обеспечивает точность отсчета времени на сейсмограммах 0.05-0.10 с [2].

Кроме того, в центральной части Гармского полигона, начиная с 1976 г., постоянно функционирует сеть из 9 идентичных автоматических сейсмических станций с радиотелеметрической передачей информации, установленная в рамках советско-американских работ [3,4]. Окончательная конфигурация этой сети сложилась к 1983 г. и остается неизменной по сей день.

Полевые пункты радиотелеметрической сети станций (рис. 1) установлены таким образом, чтобы дополнить и расширить основную сеть КСЭ: пять пунктов на хребте Петра I (между северной и южной группами станций КСЭ), один северо-восточнее сети КСЭ и два дополняют сеть с юга. Один из полевых пунктов - опорный - установлен в штольне сейсмостанции Гарм.

В условиях сильно пересеченного горного рельефа полигона при работе в УКВ-диапазоне потребовалось применение сложной сети

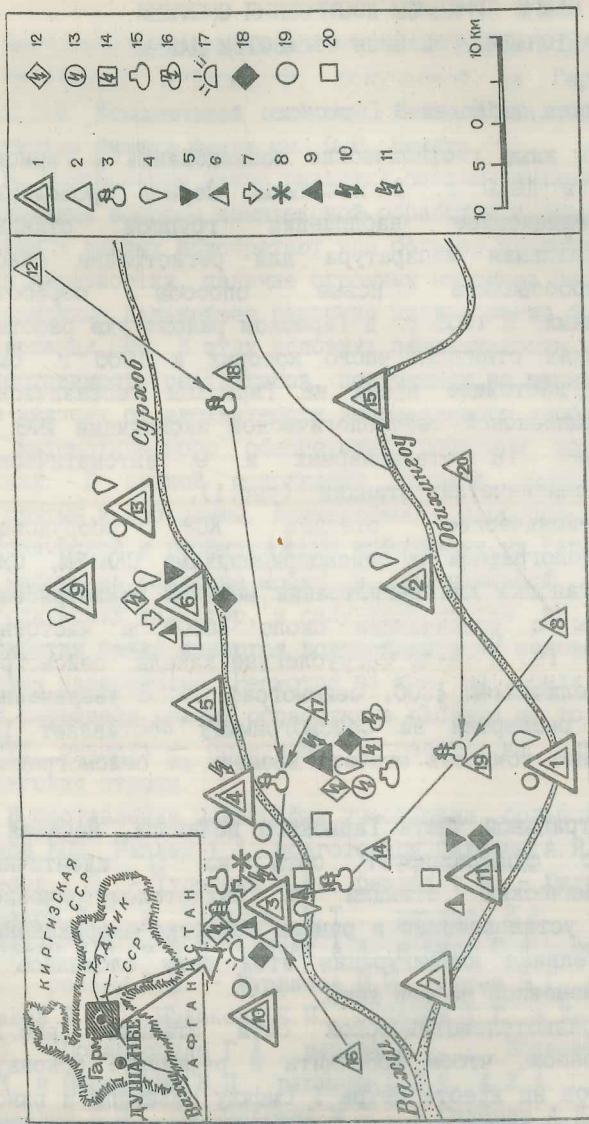


Рис. 1. Схема наблюдений на Гармском геофизическом полигоне. 1 - обслуживаемые сейсмические станции; 2, 3 - автономные станции и ретрансляторы радиотелеметрической сети сейсмических наблюдений; 4 - установка регистрации сильных движений; 5 - регистра-ция фона макросейсм; 6 - частотно-избирательные сейсмические станции (ЧИСС); 7 - приборные сейсмостанции; 8 - инструментальные наблюдения за биологическими объектами; 9 - обсерватория Хазор-Чалма; 10, 11 - питающий диполь и приемные станции системы динольного электростатического зондирования; 12 - измерения электроиндукционного поля; 13 - система вертикального электростатического зондирования; 14 - наблюдения с высокочувствительным приборам вариометром сопротивления; 15 - электрохимические наблюдения; 16 - измерения электропроводности воды; 17 - регистрация электромагнитных излучений (ЭМИ); 18 - измерения концентрации почвенного района; 19 - измерения уровня воды в скважинах; 20 -

ретрансляторов. Достаточно сказать, что из семи полевых пунктов только два находятся в зоне прямой видимости относительно пункта приема. Информация с остальных поступает через один-два ретранслятора. Полевые пункты установлены на высотах до 3800 м над урснем моря. Они полностью автономны, и их профилактическое обслуживание выполняется лишь 1-2 раза в год. Питание осуществляется от аккумуляторов, подзаряжаемых солнечными батареями, или от химических источников тока. Потребляемая мощность - менее 1 Вт (основной потребитель - радиопередатчик), автономность работы при использовании химических источников - 1 год. Для питания ретрансляторов используются аналогичные источники.

Кроме этих основных наблюдений за сейсмичностью района, на ряде станций КСЭ ведется регистрация длиннопериодных колебаний в диапазоне периодов более 1 с, сейсмического фона в диапазоне 10-20 Гц с увеличением 10-12 и сильных движений (в ждущем режиме), возникающих при сильных ощутимых землетрясениях в 5 и более баллов. В трех пунктах наблюдений - Гарме (N3), Чусале (N6) и Чиль-Доре (N11) - осуществляется стационарная регистрация землетрясений частотно-избирательными сейсмическими станциями (ЧИСС), которые оборудованы идентичным комплектом аппаратуры с набором восьми октавных фильтров, перекрывающих частотный диапазон от 0,25 до 30 Гц.

Помимо сейсмических, в стационарном режиме осуществляются и иные геофизические наблюдения. Так, по состоянию на конец 1989 г. в пяти пунктах Гармского полигона проводятся измерения деформаций и наклонов дневной поверхности (рис. 1). На станциях Гарм (N3), Чусал (N6), Чиль-Дора (N11) и Руноу (в 14 км на восток-юго-восток от станции Гарм деформации по компонентам С-Ю и В-З измеряются в специально пройденных штольнях штанговыми деформографами с базой от 16 до 50 м. На станции Сарыпуль измерение деформаций ведется в траншее, перекрытой слоем земли мощностью от 2 до 20 м, ориентированной в азимуте север-юг и пересекающей активный разлом. В качестве эталона длины применяются кварцевые штанги диаметром 40 мм, собранные из отдельных труб длиной по 3 м. В качестве преобразователя смещения в напряжение в деформографах используется индуктивный датчик, разработанный в КСЭ [5]. В этих же пунктах (рис. 1) ведется регистрация наклонов земной поверхности маятниковыми наклономерами системы Островского [6], оснащенными

емкостными преобразователями смещения в напряжение.

Блоки питания, пульты управления и контроля расположены в отдельных помещениях вне штолен в 5-10 м от входа в них. Регистрация наклономерных и деформационных данных ведется в помещениях сейсмических станций, удаленных от штолен на 100-500 м.

На всех станциях полигона данные деформографов и наклономеров регистрируются как в аналоговом, так и цифровом виде. Аналоговая регистрация данных осуществляется многоканальными самописцами в прямоугольной системе координат при скорости развертки 5-10 мм/час. Эти записи используются только для оперативного слежения за состоянием среды и контроля работоспособности аппаратуры. Для детального анализа материалов исследований берутся цифровые данные, полученные аппаратурой АЦРД (автономная цифровая регистрация деформаций), собранной в КСЭ с использованием серийных заводских блоков. Аппаратура АЦРД сконструирована по стандартной блок-схеме: задающий генератор, схемы управления, коммутатор аналоговых сигналов аналого-цифровой преобразователь, перфторатор.

Непрерывные наблюдения за вариациями уровня подземных вод проводятся в шести скважинах Гармского полигона (рис.1). Пять из них - КСЭ, Завод, Глубокая, Навды и Хаит - расположены вдоль северного борта долины реки Сурхоб. Скважина Тавиль-Дора находится на южном борту долины реки Обихингоу.

Все скважины неглубокие, в пределах 80-400 м, с урезом воды на отметках 20-60 от дневной поверхности. Для регистрации вариаций уровня подземных вод в скважинах на Гармском полигоне применяются поплавковые уровнемеры с непрерывной записью данных в аналоговом виде. За базовую модель принят уровнемер американской фирмы Stivens.

На этой основе в ОКБ ИФЗ АН СССР с некоторыми незначительными изменениями проведено тиражирование уровнемеров, которые и применяются при гидрогеологических исследованиях на Гармском полигоне.

Для наблюдений за вариациями кажущегося электрического сопротивления в центральной части Гармского полигона в окрестности нишлака Хазор-Чашма создана специальная обсерватория комплексных электромагнитных исследований. В 1969-1973 гг. здесь проводились режимные дипольные зондирования с установкой, имеющей разнос между питающим и приемным диполями 5,5 км. В качестве источника энергии

использовалась стандартная электроразведочная генераторная группа с приводом от двигателя автомобиля. Измерения тока в питающем диполе и сигналов на приемном диполе осуществлялись аналоговым способом с помощью светолучевого осциллографа.

В период с 1974 по 1984 гг. на территории обсерватории Хазор-Чашма располагалась мощная импульсная МГД-установка "Памир-1", работавшая на питающий диполь длиной около 3 км. Приемная аппаратура системы дипольного зондирования с использованием установки "Памир-1" размещалась в разные периоды наблюдений на сейсмических станциях Иштион, Саед, Тавиль-Дора, Чиль-Дора, Санги-Кар, Гарм, Ялдымич, Джафр, Чусал, Хаит. Кроме того, для изучения геоэлектрического строения Гармского полигона с помощью мобильного комплекта измерительной аппаратуры эпизодически проводилась регистрация сигналов установки "Памир-1" в самых разных пунктах Гармского полигона. Сложная форма генерируемых установкой "Памир-1" импульсов в различных режимах ее работы [7,8] потребовала разработки специальных алгоритмов обработки и интерпретации данных. Эти алгоритмы рассматриваются в разд. 4.2.

С 1981 г. по настоящее время тот же самый питающий диполь длиной 3 км, который использовался в системе зондирования с установкой "Памир-1", используется для дипольного зондирования с менее мощными установками, работающими, однако, в более длительном по сравнению с установкой "Памир-1" режиме. В частности, в последнее время в качестве генераторной установки системы дипольного зондирования используется установка "МУЗА-ПМ" [9], которая обеспечивает генерацию в питающем диполе периодической последовательности разнополярных импульсов амплитудой + 300 А. При этом высокая точность измерений тока в питающем диполе и сигналов на приемных станциях, а также автоматизация обработки данных обеспечиваются за счет применения разработанных сотрудниками КСЭ методов и аппаратуры [10,11].

С 1979 г. по настоящее время на территории обсерватории Хазор-Чашма ежедневно проводятся режимные вертикальные зондирования с разносами питающих электродов от 6 до 3000 м, измерения электропроводности воды в одном из источников, электротеллурические и электрохимические наблюдения [12,13], причем применение разработанной в КСЭ аппаратуры СЭЗ.1 [11] обеспечивает высокую точность измерений кажущегося электрического сопротивления при

вертикальном электрическом зондировании.

Особо следует отметить проводимые на территории обсерватории Хазор-Чашма высокочувствительные наблюдения за вариациями кажущегося электрического сопротивления горных пород с помощью вариометра сопротивления [14], также разработанного сотрудниками КСЭ. Этот вариометр при работе с установкой, имеющей разнос питающих и приемных электродов соответственно 3 км и 0,5 км, обеспечивает чувствительность измерений 0,01% при выводе информации в цифровой форме каждые 4 мин.

Электротеллурические и электрохимические наблюдения с дискретностью опроса один раз в сутки осуществляются также и на станции Гарм. Кроме того, на станции Чусал проводятся электротеллурические наблюдения по более совершенной методике. Первоначально на этой станции была развернута прямоугольная система размерами 200 x 400 м, состоящая из 6 неполяризуемых медносulfатных электродов длительного действия, обладающих малой и стабильной величиной потенциала собственной поляризации. В 1988 г. установлены дополнительные электроды для измерения электротеллурического поля в зоне аномальных его значений, выявленных по данным профильных наблюдений [1]. Аналогичные наблюдения проводились ранее также на станциях Иштион, Чиль-Дора, Туратол.

В 1981 г. на Гармском полигоне начаты режимные инструментальные наблюдения за биологическими объектами. На первом этапе этих работ регистрировалась электрическая активность слабозлектрических рыб [15], а затем - двигательная активность различных рыб и насекомых. Вывод информации при аналоговых методах регистрации осуществлялся непрерывно с последующим определением часовых данных с помощью ручной обработки. Разработанная специально для этих наблюдений цифровая аппаратура обеспечивает вывод часовых данных на перфоленту, цифropечатающее устройство или в блок твердотельной памяти. Независимо от способа регистрации все получаемые данные вводились в ЭВМ для последующей обработки.

В пункте Хазор-Чашма проводятся режимные измерения некоторых гидрометеорологических элементов. Аналогичная информация поступает в КСЭ с расположенных в районе полигона метеорологических станций и постов гидрологических наблюдений. При анализе данных режимных геофизических наблюдений с точки зрения поиска возможных

предвестников землетрясений изменения режима гидрометеорологических элементов рассматриваются в качестве мешающего фактора и используются для выявления экзогенных вариаций различных геофизических параметров с целью дальнейшего их учета и компенсации. Кроме того, предпринимались отдельные попытки поиска корреляционных связей изменений режимов гидрометеорологических элементов и сейсмичности.

Обработка всех поступающих данных осуществляется в центре обработки КСЭ, расположенном в 7 км западнее п. Гарм. Здесь же находятся сейсмическая станция "Гарм" (3) и центральный пункт приема информации с радиотелеметрических сейсмических станций.

Более подробная информация о системе наблюдений Гармского геофизического полигона и истории ее развития проведена в работе [1].

1.2. Структура системы программного обеспечения

Магистральным направлением дальнейшего развития экспериментальной сейсмологии является комплексный анализ данных, получаемых при наблюдениях за различными геофизическими полями и явлениями. Комплексный подход к рассмотрению геофизических проблем подготовлен предыдущим этапом, характеризовавшимся в основном развитием отдельных направлений, результатом чего явилась узкая специализация большинства исследователей и оформление методик в "частные технологии".

Настоящий этап развития экспериментальной сейсмологии следует охарактеризовать как переходный со следующими основными характеристиками: комплексирование исследований, внедрение вычислительной техники и перевод исходной и результирующей информации на машинные носители. Структура математического обеспечения автоматизированной обработки сейсмологической и иной геофизической информации определяется в основном принципами и способами получения, сбора и фиксации этой информации, в отношении которых наблюдается весьма широкий спектр подходов.

С одной стороны, все еще широко распространен старый, традиционный метод, связанный с видимой регистрацией землетрясений и геофизических параметров, их предварительной обработкой и последующим ручным вводом в ЭВМ. Надежность, отработанность того

скалярного произведения λ между двумя состояниями S'_{ij} и S''_{ij} .

$$\lambda = \frac{1}{2}(S'_{ij} \cdot S''_{ij}) \quad (3.3.6)$$

можно установить взаимно однозначное соответствие между множеством напряженных состояний Σ и множеством точек сферы в евклидовом пространстве, описываемой единичным вектором $\vec{\eta}$. Эту сферу (в дальнейшей Σ -сфере) можно считать заданной в уже введенной выше системе координат, так что вектор $\vec{\eta}$ имеет компоненты: $\vec{\eta} = (\cos\omega, \sin\omega \cdot \cos\alpha, \sin\omega \cdot \sin\alpha)$.

Как следует из установленного таким образом соответствия, на верхней половине Σ -сферы ($0 \leq \omega \leq \pi/2$) по оси OX_1 главное напряжение является растягивающим, а главное сжимающее напряжение действует горизонтально по направлению, удвоенный азимут которого определяется углом α ; для точек нижней полусферы компоненты напряжений равны по величине и противоположны по знаку компонентам напряжений, отвечающих противоположным точкам верхней полусферы.

Оптимальное решение системы неравенств (3.3.4) можно понимать как отыскание такого вектора решения $\vec{\eta}$ на Σ -сфере, который относится к определенному центру области решения. Также и каждому фокальному механизму $m_{ij}^{(\alpha)}$ почти всегда единственным образом соответствует задаваемая единичным вектором $\mu^{(\alpha)}$ точка на Σ -сфере, для которой левая часть неравенства номер α максимальна. Процедура расчета для данного фокального механизма m_{ij} соответствующих угловых координат (α, ω) единичного вектора μ состоит в обращении формул (3.3.4), где ненулевые компоненты S_{ij} заменяются на перенормированные компоненты матрицы \bar{m}_{ij} , при этом $\bar{m}_{12} = \bar{m}_{21} = 0$, $\bar{m}_{13} = \bar{m}_{31} = 0$.

Преобразованием фокальных механизмов в набор точек Σ -сферы процесс решения системы (3.3.4) можно представить как отыскание плоскости с нормалью η , по одну сторону от которой находится вся совокупность точек $\{\mu^{(\alpha)}; \alpha = 1, 2, 3, \dots, M\}$.

3.3.2. Структура программы расчета STD и STH

Расчет среднего механизма, дающего направленность STD, а также картины распределения индивидуальных фокальных механизмов на верхней половине Σ -сферы и построение на ее основе решающей плоскости с нормалью к ней, позволяющей оценить вид STH, осуществляется с помощью программы DSDIAR. Исходными данными для

работы программы служат параметры фокальных механизмов, определенные ранее с помощью программы FMDEAR и хранящиеся в базе данных.

Блок-схема программы DSDIAR приведена на рис. 33. Подпрограммы, осуществляющие выборку параметров индивидуальных фокальных механизмов из базы данных, здесь аналогичны описанным в разделе 2.3.3. Подпрограмма ISTDS строит картину распределения фокальных механизмов на верхней половине Σ -сферы и вычисляет нормаль к "решающей плоскости", рассчитывает, согласно этой нормали, компоненты матрицы напряжений S_{ij} по формулам из разд. (3.3.1), а также оценивает STD. Необходимый для выполнения такой оценки анализ матрицы среднего механизма выполняется подпрограммами ACHAR и AEIGN, а сама матрица, получаемая путем накопления матриц индивидуальных механизмов, рассчитывается подпрограммой ISUMM. Результаты работы программы DSDIAR выводятся на печать в виде картины распределения на верхней половине Σ -сферы фокальных механизмов, входящих в состав данной выборки, а также записываются на диск в файл RSLT.SDS.

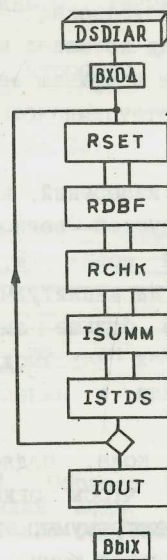


Рис. 33. Блок-схема программы DSDIAR.

3.4. Определение очаговых спектров и параметров землетрясений по ЧИСС-коде

В КСЭ принята методика определения очаговых спектров землетрясений на основе частотного состава колебаний в сейсмической коде, получаемого по записям аппаратурой ЧИСС [46-49]. Кода

позволяет включать в рассмотрение землетрясения на расстояниях до 1500 км, на которых из-за сложности волновой картины спектральный анализ объемных волн затруднен, а также сильные землетрясения, у которых прямые волны вышли за пределы сейсмограммы. Осредняющие свойства механизма формирования коды позволяют получать спектры с высокой точностью.

3.4.1 Определение очаговых спектров

Процедура определения спектров состоит в следующем:

- а) измерение огибающих;
- б) аппроксимация их стандартными огибающими;
- в) определение ЧИСС-спектра коды $A_{1,00}(f)$ на каждой станции;
- г) введение станционных поправок;
- д) усреднение данных разных станций и расчет стандартных отклонений;
- е) вычисление очаговых спектров смещения $DIS(f)$, скорости $VEL(f)$ и ускорения $ACC(f)$ по ЧИСС-спектрам коды $A_{1,00}(f)$.

3.4.1.1. Измерения

Прежде всего на записи выделяется участок для измерений, который начинается после максимальных амплитуд доминирующей волны (для длиннопериодных каналов это обычно релеевская волна R, для короткопериодных - волна S), а заканчивается, когда амплитуды коды становятся настолько малыми, например лишь вдвое больше амплитуд фона, что их достаточно точные измерения становятся невозможны. В действительности участок может быть и короче, если в начале его амплитуды выходят за пределы сейсмограммы.

На записи отмечаются большие амплитуды в коде, подлежащие измерению. Выбор их производится из условия, чтобы огибающая убывала во времени монотонно. Промежуточные экстремумы, меньше измеряемых, игнорируются. Особое внимание уделяется тому, чтобы не допустить измерения каких-либо посторонних колебаний, наложившихся на коду (других землетрясений, помех и т.п.) Пример разметки показан на рис. 27.

Для каждой отмеченной амплитуды определяется момент времени t , отсчитываемый от времени в очаге, и размах $2A(t)$ (двойная амплитуда) в мм. Результаты измерений записываются на бланки. Указываются также основные данные о землетрясении (дата, время в очаге, координаты и название зоны, К и магнитуды), а также

амплитуда калибровочного сигнала МПА для каждого канала.

3.4.1.2. Аппроксимация огибающих и определение $A_{1,00}(f)$

Полученные значения амплитуд $2A(f)$ в мм на записи и время t в секундах наносятся на график в двойном логмасштабе. Пересчет измеренных по сейсмограммам значений $2A$ к абсолютным значениям мкм/с производится графически: на график огибающей каждой частоты наносится значение амплитуды сигнала МПА в мм в виде горизонтальной риски, ее абсолютный уровень соответствует 1 мкм/с движения почвы.

За момент начала коды, после которого огибающая должна совпадать со стандартной кривой, принимается умноженное на три (для высоких частот - на два) время пробега доминирующей волны, (для длинных периодов - релеевской, для коротких - поперечной). Более ранние измерения делаются для того, чтобы фактический переход от прямой волны и ее шлейфа к коде был более наглядным. Огибающая каждого канала аппроксимируется стандартной кривой, соответствующей данной частоте (рис. 34).

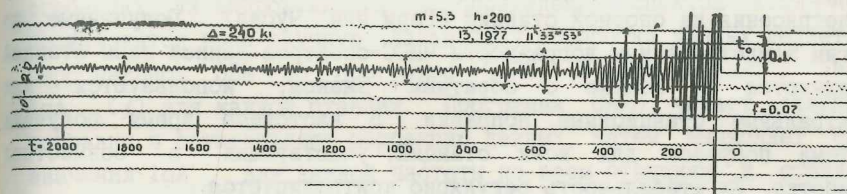


Рис. 34. Образец сейсмограммы ЧИСС, иллюстрирующий методику измерения коды. Галочками выделены пики, измеряемые при построении огибающей коды.

Поскольку строение среды (параметры поглощения и рассеяния) в разных регионах неодинаково, то существуют довольно значительные вариации формы и уровня огибающих, выраженные в сравнительно больших регионах, например в Северном Тянь-Шане по сравнению с Южным и Западным Тянь-Шанем и с Памиром [48]. Это заставляет использовать для станций, расположенных в этих регионах, специфические региональные калибровочные кривые (стандартные огибающие данного региона).

Пересечение стандартной аппроксимирующей кривой с вертикалью,

соответствующей $t = 100$ с, и определяет значение $A_{1,00}(f)$ мкм/с колебаний почвы для данной частоты. Совокупность $A(f)$ называется "ЧИСС-спектром коды" (рис. 34).

3.4.1.3. Станционные поправки

Локальные геологические условия под станциями, даже расположенными в одном регионе, близко друг к другу, вносят систематические (одинаковые для всех землетрясений) искажения в частотный состав коды.

Как правило, для станций, расположенных на осадочных толщах, наблюдается завышение коды в области сравнительно низких частот (0.3 - 1.25 Гц) и занижение высокочастотных амплитуд вследствие низкой добротности в этих толщах. Кроме того, существует определенное влияние условий на контакте прибор-постамент, существуют погрешности в калибровке аппаратуры. Все эти факторы образуют зависящие от частоты станционные отклонения и корректируются станционными поправками $C(f)$.

Величины поправок оцениваются путем сравнения ЧИСС-спектра коды $lgA_{1,00}(f)$ на какой-либо станции с ЧИСС-спектром коды того же землетрясения на опорной станции (Гарм или Чусал). Полученные по многим землетрясениям логразности ЧИСС-спектров данной пары станций усредняются и, взятые с обратным знаком, используются как спектральные станционные поправки. В настоящее время получена система поправок для всех станций, участвующих в совместной обработке. Их стабильность регулярно контролируется.

После введения станционных поправок разброс значений $lgA_{1,00}(f)$ на разных станциях для одного землетрясения как правило, не превышает 0.10-0.20 лог.ед. Большой разброс указывает на какие-то ошибки.

3.4.1.4. Расчет очаговых спектров

Величины очаговых спектров смещения $DIS(f)$, скорости $VEL(f)$ и ускорения $ACC(f)$ определяются с помощью переходных функций $D(f)$:

$$\begin{aligned}lgDIS(f) &= lgA_{1,00}(f) + D_d(f), \\lgVEL(f) &= lgA_{1,00}(f) + D_v(f), \\lgACC(f) &= lgA_{1,00}(f) + D_a(f),\end{aligned}\tag{3.4.1}$$

причем переходные функции D_v и D_a для вычисления спектров скорости и ускорения отличаются от переходной функции D_d для смещения на величины $lg2\pi + lgf$ и $2(lg2\pi + lgf)$, т.е. на $0.8 + lgf$ и $1.6 + 2lgf$, соответственно.

Значения $lgA_{1,00}(f)$ измеряются в мкм/с колебаний почвы. Очаговые спектры выражаются в m^2 , m^3/c и m^3/c^2 . Это соответствует тому, что максимум Φ_0 спектра смещения $DIS(f)$ равен произведению площади разрыва A на среднюю подвижку D :

$$\Phi_0 = AD\tag{3.4.2}$$

Величину Φ_0 называют также дислокационным моментом. Спектры скорости и ускорения характеризуют нарастание во времени этой величины.

Отметим, что переходная функция $D(f)$ принята единой для всех регионов. Региональные и локальные различия соотношений между $lgA_{1,00}(f)$ и очаговым спектром, которые существуют за счет особенностей строения, параметров поглощения и рассеяния, учитываются в форме станционных поправок.

В настоящее время измерение по сейсмограммам, построение огибающих, их аппроксимация и определение спектра коды $A_{1,00}(f)$ производится пока вручную. Дальнейшая обработка данных делается на персональной ЭВМ по программе CARD. В ЭВМ вводятся значения $lgA_{1,00}(f)$ для каждой станции. Программа CARD читает станционные поправки и осуществляет коррекцию данных, затем вычисляет средние значения $lgA_{1,00}$ для каждой частоты по всем станциям и стандартные отклонения для каждой частоты. Нормой считаются отклонения, не превышающие 0.15 лог.ед., на отдельных каналах допускаются σ порядка 0.20. Большие квадратические отклонения указывают на грубые ошибки, и данные подлежат пересмотру.

После проверки и исправления с помощью программы CARD в ЭВМ вводятся исправленные значения $lgA_{1,00}(f)$. Программа заново производит учет станционных поправок, осреднение и вычисление по новым средним значениям очаговых спектров смещения, скорости и ускорения и все эти данные вносит в годовой машинный каталог.

В диалоговом режиме программа CARD читает данные машинного каталога и по ним формирует и выдает на печать карточки. В них приводятся основные параметры землетрясения, исходные данные $lgA_{1,00}(f)$ по всем станциям и их средние значения, стандартные отклонения σ и значения логарифмов очаговых спектров $lgDIS$, $lgVEL$ и

lgACC для всех частот.

Программа CARD выдает по запросу также спектры в графическом виде, список обработанных землетрясений за год с указанием только даты и момента в очаге.

По окончании обработки материалов года программа по запросу формирует таблицу - основу каталога очаговых параметров в форме CAT с указанием двух последних цифр года, например CAT88. В нее программа вносит из машинного каталога основные параметры землетрясения: дату, время, зону, координаты и глубину, энергетический класс K и магнитуды MPVA, MPVB и MLH.

3.4.2. Определение спектральных параметров

Выбор спектральных параметров для внесения их в каталог определяется типовыми особенностями формы спектров.

Наблюдаемые спектры четко разделяются на два типа. К первому типу относятся "простые" спектры, у которых плоская низкочастотная часть спектра смещения резко переходит в высокочастотный квадратичный склон. Второй тип характеризуется наличием между ними некоторой промежуточной части. Мы аппроксимируем очаговые спектры ломаной линией, что позволяет описывать их несколькими параметрами. Для спектров первого типа достаточно задать два параметра: угловую частоту f_0 и уровень спектра. Для спектров второго типа требуются две угловые частоты f_1 и f_2 и два значения спектра при этих частотах.

Аппроксимация спектра и определение по нему двух или, для спектров 2 типа, четырех параметров делается вручную. На графике спектра скорости визуальным осреднением наносится аппроксимирующая ломаная и по ней определяются угловые частоты (f_0 или f_1 и f_2), при которых график спектра имеет изломы. В качестве мер уровня спектра берутся значения Φ_1 или $\Phi_{1,1}$ и $\Phi_{1,2}$ спектра скорости при угловых частотах:

$$\begin{aligned} \lg \Phi_1 &= \lg \text{VEL}(f_0) \\ \lg \Phi_{1,1} &= \lg \text{VEL}(f_1) \\ \lg \Phi_{1,2} &= \lg \text{VEL}(f_2). \end{aligned} \quad (3.4.3)$$

Эти значения спектральных параметров вручную вносятся в каталог. В каталог заносятся также значения частот f_{\min} и f_{\max} , указывающие границы диапазона, в котором получен спектр каждого землетрясения.

В ряде случаев в высокочастотной области, начиная с некоторой частоты f_{\max} , наблюдается переход на более крутой склон. Для спектров смещения это соответствует убыванию по 2.5-3 степени частоты. Для спектра ускорения это означает, что его высокочастотная плоская часть ограничена, и при $f > f_{\max}$ начинается убывание спектра ускорения. Пока эта особенность спектров еще не отражена в каталоге.

Полный каталог тестируется программой EDCAT на ошибки, возникающие при ручном вводе данных: на несоответствие координат заданному региону, на абсурдные значения дат, времен и координат, на аномальные соотношения между магнитудами, на нарушения хронологической упорядоченности каталога во времени.

3.4.3. Вычисление очаговых параметров

Описанная выше параметризация спектров достаточна для вычисления очаговых параметров землетрясения. Программа CARD вычисляет очаговые параметры, принятые при публикациях в ежегоднике "Землетрясения в СССР". Это - дислокационный момент Φ_0 в м^3 , уровень плоской части спектра ускорения Φ_2 в $\text{м}^3/\text{с}^2$, сейсмический момент M_0 в Н.м, сейсмическая энергия E в Дж, и кажущиеся напряжения $\eta\sigma$ в барах. Используются следующие расчетные формулы:

$$\left. \begin{aligned} \lg \Phi_0 &= 2 \lg \Phi_1 - \lg 2\pi f_0 \\ \lg \Phi_2 &= 2 \lg \Phi_1 + \lg 2\pi f_0 \end{aligned} \right\} \text{ для спектров 1 типа} \quad (3.4.4)$$

$$\left. \begin{aligned} \lg \Phi_0 &= 2 \lg \Phi_{1,1} - \lg 2\pi f_1 \\ \lg \Phi_2 &= 2 \lg \Phi_{1,2} + \lg 2\pi f_2 \end{aligned} \right\} \text{ для спектров 2 типа} \quad (3.4.5)$$

При вычислении сейсмического момента

$$\lg M_0 = \lg \Phi_0 + \lg \mu \quad (3.6.4)$$

мы принимали, что для очагов в кристаллической коре логарифм модуля сдвига (в $\text{Н}/\text{м}^2$) равен 10,5; для подкорковых очагов 10,9. К подкорковым относим землетрясения с глубинами очага $h > 60$ км. Для очагов в осадочной толще следовало бы использовать значение $\lg \mu = 10,3$. Но из-за недостаточной надежности определения глубин мы условно принимаем $\lg \mu = 10,5$ для всех коровых очагов.

Формула для вычисления сейсмической энергии получена согласно теореме Рейли интегрированием по частоте квадрата спектра скорости.

Результат интегрирования для спектра 2 типа в случае, когда $\Phi_{1,1} = \Phi_{1,2} = \Phi_0$, полученный в работе [50], применительно к очаговым спектрам имеет вид:

$$\lg E = 2\lg \Phi_1 + \lg f_1 + \lg (f_2 / f_1 - 1/3). \quad (3.4.7)$$

При этом, если промежуточная часть спектра широкая, так что величиной $1/3$ можно пренебречь по сравнению с f_2 / f_1 , то формула (3.4.7) принимает вид:

$$\lg E = 2\lg \Phi_{1,2} + \lg f_2 - 0.35. \quad (3.4.8)$$

Если спектр скорости в пределах промежуточной части не плоский, а, например, возрастает с частотой, то мы берем константу равной 0.40 вместо 0.35, а если убывает, то 0.25.

Если спектр относится к 1 типу и $f_1 = f_2 = f_0$, то, очевидно,

$$\lg E = 2\lg \Phi_1 + \lg f_0 - 0.52. \quad (3.4.9)$$

Определение скачка напряжений $\Delta\sigma$ требует определенного допущения о связи угловой частоты с линейным размером очага или площадью разрыва. Разные модели приводят к существенно различным значениям $\Delta\sigma$. Поэтому мы отказались от использования величины скачка напряжений и вместо этого определяем так называемое кажущееся напряжение $\eta\sigma$. Если $\eta\sigma$ измеряется в Па, то

$$\eta\sigma = E / \Phi_0. \quad (3.4.10)$$

Оба множителя в этом выражении определяются из спектра и не требуют указанного допущения. Чтобы результат выразить в барах, следует учесть, что 1 бар отвечает 10^5 Па и тогда

$$\lg(\eta\sigma) = \begin{cases} \lg E - \lg \Phi_0 - 5.0; \\ \lg \Phi_1 + 2\lg f_0 - 4.72; \\ 0.5\lg E + 1.5\lg f_0 - 4.72. \end{cases} \quad (3.4.11)$$

Расчеты очаговых параметров выполняются программой CARD при формировании каталога в форме, принятой для публикации в "Землетрясениях в СССР". В него включаются $\lg M_0$, $\lg E$ и $\eta\sigma$.

3.4.4. Расчет параметров субочагов

В работе [51] дается следующая интерпретация спектров разного типа. Спектры 1 типа соответствуют простому разрыву, у которого вспарывание и подвижка распределены равномерно по всему разрыву.

Спектры 2 типа характеризуют сложный разрыв. Мы предполагаем, что в этом случае спектр есть сумма двух простых спектров: спектра гладкой части разрыва или главного очага (ГО) и спектр субочага (СО).

Спектр ГО имеет угловую частоту f_1 , спектр СО - f_2 . Именно СО, из-за его большой эффективной прочности (статического трения), до землетрясения являлся концентратом напряжений. Во время землетрясения именно с субочага выделяется львиная доля сейсмической энергии. Спектральные и очаговые параметры для каждой части очага порознь вычисляются в рамках этой гипотезы.

Вычисление для ГО проводится по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \lg \Phi_0 &= \lg \Phi_{1,1} - \lg f_1 - 0.8; \\ \lg E &= 2\lg \Phi_{1,1} + \lg f_1 - 0.52; \end{aligned} \quad (3.4.12)$$

$$\lg(\eta\sigma) = \begin{cases} \lg E - \lg \Phi_0 - 5.0 \\ \lg \Phi_1 + 2\lg f_1 - 4.72 \\ 0.5\lg E + 1.5\lg f_1 - 4.72 \end{cases}$$

и для СО

$$\begin{aligned} \lg \Phi_0 &= \lg \Phi_{1,2} - \lg f_2 - 0.8; \\ \lg E &= 2\lg \Phi_{1,2} + \lg f_2 - 0.52; \end{aligned} \quad (3.4.13)$$

$$\lg(\eta\sigma) = \begin{cases} \lg E - \lg \Phi_{0,2} - 5.0 \\ \lg \Phi_1 + 2\lg f_2 - 4.72 \\ 0.5\lg E + 1.5\lg f_2 - 4.72 \end{cases}$$

Построение корреляционных графиков каких-либо пар параметров из перечисленных выше, а также основных параметров землетрясений (К, магнитуд, глубин), например $\lg E + \lg f$ или $\lg \eta\sigma + h$, осуществляется с помощью программы TAB из данных каталога в диалоговом режиме. Программа создает таблицы в виде, воспринимаемом программой GRAFIT, с помощью которой строятся графики.

3.5. Оперативное слежение за временными изменениями скоростей сейсмических волн

Исследования временных вариаций скоростей пробега сейсмических волн от слабых землетрясений, выполняемые в КСЭ с помощью комплекса

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	7
1.1. Система наблюдений Гармского полигона	7
1.2. Структура системы программного обеспечения	13
1.3. Управляющая справочно-информационная программа "Администратор"	23
1.3.1. Генерация автоматизированной системы	24
1.3.2. Защита проблемных баз данных	25
1.3.3. Обеспечение совместной работы программ комплекса	25
1.3.4. Справочно-информационный модуль "ASK"	26
ГЛАВА 2. ОБРАБОТКА ДАННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ	28
2.1. Автоматическая обработка трехкомпонентных записей местных землетрясений, получаемых сетью радиотелеметрических сейсмических станций	28
2.1.1. Полевые пункты регистрации	28
2.1.2. Система сбора и регистрации данных	29
2.1.3. Система подготовки и ввода данных в ЭВМ	32
2.1.4. Расширение возможностей системы регистрации	34
2.1.5. Алгоритмы и программы детальной автоматической обработки телеметрических сейсмограмм местных землетрясений	36
2.1.5.1. Общая характеристика пакета программ	36
2.1.5.2. Краткая характеристика ЭВМ HP-9845B	38
2.1.5.3. Оцифровка аналоговых записей землетрясений и подготовка библиотеки цифровых сейсмограмм	39
2.1.5.4. Методика цифровой обработки записей местных землетрясений	40
2.1.5.5. Определение вступлений Р-волн	41
2.1.5.6. Определение вступления S-волн	43
2.1.5.7. Определение параметров поляризации	49
2.1.5.8. Вычисление амплитудных и спектральных характеристик	52

2.1.5.9. Пакет программ для цифровой обработки записей местных землетрясений	54
2.1.5.10. Результаты цифровой обработки записей местных землетрясений	61
2.2. Текущая обработка первичной сейсмологической информации и определение координат и энергии землетрясений	70
2.2.1. Подсистема "Эпицентрия"	72
2.2.1.1. Структура базы данных	73
2.2.1.2. Система управления базой данных	76
2.3. Определение фокальных механизмов землетрясений	83
2.3.1. Задача определения фокального механизма землетрясения по знакам первых вступлений	83
2.3.2. Структура программы определения фокального механизма	85
2.3.3. Структура базы данных	90
Глава 3. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	96
3.1. Каталоги исходной сейсмологической информации	96
3.2. Комплекс программ анализа сейсмического режима	98
3.2.1. Осуществление различных выборок из каталогов землетрясений и их графическое отображение	98
3.2.2. Мониторинг развития сейсмического процесса во времени	105
3.2.3. Исключение среднего сейсмического фона	105
3.2.4. Изучение вариаций глубины очагов землетрясений	106
3.2.5. Выделение областей сейсмических затиший	107
3.2.6. Выделение роев землетрясений	112
3.2.7. Исследования режима микроземлетрясений	116
3.2.8. Программы линейной экстраполяции значений временных рядов сейсмичности и других геофизических параметров	121
3.2.8.1. Постановка задачи	121
3.2.8.2. Авторегрессионная модель	122
3.2.8.3. Взаимнорегрессионные модели	123
3.2.8.4. Программа КОМП	126
3.2.8.5. Программа КОМП	126
3.2.8.6. Программа FLOT	127
3.2.9. Программа CASANDR	127

3.3.	Оценка сейсмостектонической деформации и напряженного состояния по механизмам очагов землетрясений	129
3.3.1.	Задача изучения сейсмостектонических деформаций и напряжений	129
3.3.2.	Структура программы расчета STD и СТН	132
3.4.	Определение очаговых спектров и параметров землетрясений по ЧИСС-коде	133
3.4.1.	Определение очаговых спектров	134
3.4.1.1.	Измерения	134
3.4.1.2.	Аппроксимация огибающих и определение $A_{100}(f)$	135
3.4.1.3.	Станционные поправки	136
3.4.1.4.	Расчет очаговых спектров	136
3.4.2.	Определение спектральных параметров	138
3.4.3.	Вычисление очаговых параметров	139
3.4.4.	Расчет параметров субочагов	140
3.5.	Оперативное слежение за временными изменениями скоростей сейсмических волн	141
3.5.1.	Метод одновременного определения координат гипоцентров землетрясений и скоростей сейсмических волн	142
3.5.2.	Методика построения временных рядов скоростных параметров	145
3.5.3.	Структура программы расчетов временных изменений скоростных параметров	149
Глава 4.	ДЕФОРМАЦИОННЫЕ, ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ	151
4.1.	Наблюдения за деформациями приповерхностного слоя	151
4.1.1.	Подготовка данных к вводу в ЭВМ	151
4.1.2.	Ввод в ЭВМ и первичная обработка данных	152
4.1.3.	Оперативная обработка данных	155
4.1.4.	Анализ долговременных вариаций	159
4.1.5.	Спектральный анализ приливных и долговременных колебаний	160
4.2.	Электрометрические наблюдения	161
4.2.1.	Автоматизация исследований с помощью микро-ЭВМ	163
4.2.2.	Автоматизация дипольных зондирований на основе использования метода накопления	165
4.2.3.	Вертикальное электрическое зондирование	170

4.2.4.	Частотные электромагнитные зондирования одиночными импульсами тока	171
4.2.5.	Изучение аномальных вариаций электротеллурического поля	174
4.2.5.1.	Алгоритм совместной обработки синхронных записей электротеллурического поля	174
4.2.5.2.	Программа DATETP пополнения файлов данных ЭТП	177
4.2.5.3.	Программа SGLAG совместной обработки данных наблюдений ЭТП	178
4.2.5.4.	Программа PRNETP распечатки среднесуточных значений ЭТП	180
4.2.6.	Хранение и обработка данных режимных электрометрических наблюдений	184
4.2.6.1.	Функции базы данных	184
4.2.6.2.	Структура базы данных	188
4.2.6.3.	Использование и обслуживание базы данных	194
4.3.	Наблюдения за биологическими объектами	196
4.3.1.	Методики наблюдений	196
4.3.1.1.	Регистрация электрической активности слабо-электрических рыб	197
4.3.1.2.	Регистрация двигательной активности рыб	198
4.3.1.3.	Регистрация двигательной активности насекомых	198
4.3.2.	Аппаратурное оснащение методик инструментальных наблюдений за биоиндикаторами	198
4.3.3.	База данных наблюдений за биоиндикаторами	199
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	204
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	208
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	211