

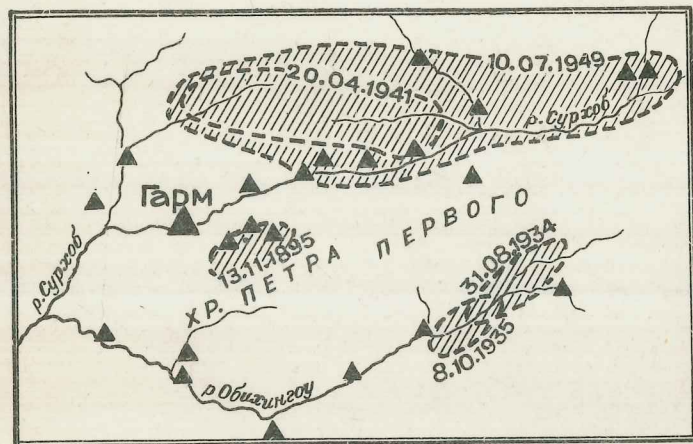
1 30-24
479-3

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ
ИМЕНИ О.Ю. ШМИДА



КОМПЛЕКСНАЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

ГАРМСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН



МОСКВА-ГАРМ
1990

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

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

КОМПЛЕКСНАЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

1 90-24
479-3

ГАРМСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН

КОНТРОЛЬНЫЙ ЭКЗ.

Москва - Гарм
1990

Коллектив авторов

ГАРМСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН

Аннотация

В монографии описана история развития системы наблюдений Гармского геофизического полигона, расположенного в сейсмоактивном районе Таджикской ССР, и его аппаратурно-методическое оснащение. Дан обзор представлений о геолого-тектоническом строении полигона.

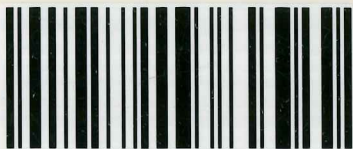
Книга может служить справочником по системе наблюдений Гармского полигона и накопленному на нем за несколько десятилетий режимных наблюдений комплексом геофизических методов, материалу. Рассчитана на сейсмологов, научных сотрудников, занимающихся проблемами прогноза землетрясений, и может быть полезна широкому кругу специалистов в области геофизики.

Рис. 54. Табл. 16.

Ответственный редактор

Кандидат физико-математических наук

А.Я. СИДОРИН



2010129866

© Институт физики Земли АН СССР, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Задача прогноза природных катастроф, и в частности прогноза разрушительных землетрясений, занимает сейчас одно из первых мест в ряду экологических проблем, стоящих перед человечеством. Выполнение этой задачи немислимо без организации разветвленной сети геофизических наблюдений и существенного развития методологии геофизических исследований. С этой целью и создаются в последние годы геофизические полигоны в различных регионах СССР.

Первым из таких полигонов, основы которого закладывались еще в 1945-1954 гг. и который по сути дела можно считать родоначальником всех остальных ныне существующих геофизических полигонов, является Гармский геофизический полигон, где вот уже более 35 лет Комплексной сейсмологической экспедицией Института физики Земли АН СССР ведутся непрерывные геофизические наблюдения комплексом методов.

Непосредственному созданию стационарного геофизического полигона в Гармском районе Тадж. ССР предшествовала сейсмическая катастрофа 5 октября 1948 г. в Ашхабаде, полностью разрушившая столицу Туркмении и унесшая жизни значительной части ее населения. Одним из организационных последствий этой катастрофы явилось специальное постановление Правительства СССР, принятое в феврале 1949 г., согласно которому предусматривалась организация научных исследований в области разработки методов прогноза землетрясений на геофизическом полигоне в одном из высокосейсмичных регионов страны. В качестве такого региона и был выбран Гармский район, расположенный в зоне сочленения двух крупнейших горных стран Памира и Тянь-Шаня, где к тому времени уже произошел ряд сильных землетрясений с интенсивностью сотрясений в эпицентре 9 баллов и выше. Начало организации полигона совпало с возникновением в его пределах самой сильной из известных здесь сейсмической катастрофы 10 июля 1949 г. с 10-балльными сотрясениями в эпицентральной зоне в районном центре Хайт. В результате этой катастрофы Хайт просто перестал существовать, погребенный под многометровой толщей обломков скальных пород, обрушившихся на него с расколовшейся вершины соседней горы. Хайтская катастрофа в какой-то мере задала и продолжает задавать тон не

только научной, но и жизненно важной практической значимости проводимым исследованиям на Гармском геофизическом полигоне.

К настоящему времени на Гармском полигоне создан и функционирует в стационарном режиме целый комплекс геофизических наблюдений, объединенных одной целью — поиском предвестников сильных землетрясений в различных геофизических полях и разработке методологии прогноза сильных землетрясений. Здесь прошли испытания практически все аппаратные и методические разработки, находящиеся в настоящее время на вооружении других геофизических полигонов. В этом смысле Гармский геофизический полигон можно назвать "геофизической школой", опыт которой представляет безусловную ценность для дальнейшего развития не только отечественных, но и зарубежных исследований в области комплексирования геофизических наблюдений для целей достоверного выделения предвестников сильных землетрясений. Многие сотрудники ныне существующих геофизических полигонов прошли стажировку в Гарме и продолжают поддерживать с ним научные контакты. На Гармском полигоне в 1974 г. начаты и продолжаются в настоящее время совместные советско-американские работы, выполняемые в рамках советско-американского Соглашения по сотрудничеству в области охраны окружающей среды по проблеме IX этого Соглашения — прогнозированию землетрясений.

На Гармском полигоне с 1988 г. ведутся совместные советско-американские работы в области сейсмического эксперимента по контролю за подземными ядерными взрывами, а также проводится совместный советско-английский сейсмический эксперимент. Широкий круг сейсмологов всего мира, в том числе из США, Японии, Англии, Франции, ФРГ, Голландии, Индии и других стран, непосредственно в Гарме знакомилась с работой геофизического полигона и с результатами проводимых здесь научных исследований.

В предлагаемой монографии представлена история развития системы геофизических наблюдений на Гармском полигоне и их аппаратно-методического оснащения. Хотя из-за ограниченности объема за рамками рассматриваемых вопросов остались методы обработки и интерпретации данных наблюдений, описание и анализ полученных результатов, настоящая монография представляет, на наш взгляд, достаточный интерес, поскольку столь подробная сводка

сведений относительно этого полигона делается впервые, и в результате работы над ее созданием авторам самим впервые представилась возможность в полном объеме увидеть целостную картину развития геофизических наблюдений на полигоне. Это само по себе уже имеет определенную ценность, поскольку становится обозримым тот путь, который прошла отечественная геофизика в становлении современной аппаратуры и методологии наблюдений.

В результате многолетних наблюдений на Гармском полигоне выяснилось, что вариации во времени измеряемых параметров геофизических полей находятся в довольно сложном соотношении с моментами возникновения сильных землетрясений, что может служить своеобразным предупреждением относительно беспочвенности надежд на сравнительно легкий успех в решении проблемы прогноза землетрясений. В настоящее время со всей очевидностью стало ясно, что для выяснения полной совокупности соотношений "предвестник — сильное землетрясение" и установления их возможной причинно-следственной связи необходимы довольно длительные (по крайней мере в несколько десятилетий) стационарные непрерывные наблюдения за геофизическими полями и сейсмичностью. Именно в этом следует видеть главную задачу геофизических полигонов, не настраиваясь на счастливую возможность достижения сравнительно легкого успеха в решении проблемы прогноза землетрясений путем установки какого-то одного нового прибора, или создания нового способа обработки данных конкретных измерений, или одного лишь комплексирования результатов различных геофизических наблюдений на коротком временном интервале. Следует быть готовыми к многолетнему кропотливому труду на оснащенных по последнему слову науки и техники геофизических полигонах. Приоритетным в этом смысле по длительности уже ведущихся геофизических наблюдений и является Гармский полигон, в чем и заключается его важная научная значимость.

В создании описания Гармского геофизического полигона принимали участие следующие сотрудники КСЭ и ИФЗ АН СССР: Лукк А.А. и Шевченко В.И. (раздел 1.1), Сидорин А.Я. (разделы 1.2, 1.3, 5.2 и глава 4), Нерсесов И.Л. (разделы 1.2 и 2.10), Халтурин В.И. (разделы 1.3, 2.1-2.6), Котляр Т.Ф. (разделы 2.1-2.5), Тарасов Г.Г. (раздел 2.6), Тарасов Н.Т. (раздел 2.7), Кунаков В.Г. (разделы 2.7, 2.8, 4.4), Алексин П.А., Молотков С.Г. и Штейн-

берг В.В. (раздел 2.9), Аксенович Г.И. (раздел 2.10), Гусева Т.В. (раздел 3.1), Боканенко Л.И., Передерин В.П. и Галаганов О.Н. (разделы 3.2 и 3.3), Гриднев Д.Г. (разделы 3.2.2.3, 3.4, 5.3.4), Науменко-Бондаренко (разделы 3.4.2 и 5.3.4), Пономарев А.В. и Салов Б.Г. (раздел 4.1.3), Крылов С.М. (раздел 4.4), Сквородкин Ю.П. и Безуглая Л.С. (раздел 4.7), Максимов А.Б. (раздел 5.1), Козырева Л.И. (разделы 5.3.1-5.3.3). При этом в ряде случаев использованы материалы из отчетов, хранящихся в фондах КСЭ ИФЗ АН СССР. В редактировании текста существенную помощь ответственному редактору оказал А.А.Луки.

Глава I. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ГАРМСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

I.1. Обзор представлений о гестектоническом строении и развитии территории Гармского района

Территория Гармского района, на которой с 1945 года эпизодически, а затем с 1955 года и постоянно, проводится обширный комплекс геофизических наблюдений, нацеленных на решение задач, связанных с прогнозом сильных землетрясений, располагается в пределах зоны сочленения двух крупнейших горных стран мира - Памира и Тянь-Шаня. С геологической точки зрения Гармский район включает смежные части Памира, Тянь-Шаня и разделяющей их Таджикской депрессии.

Таджикская депрессия представляет собой асимметричный прогиб, который выполнен мощной толщей осадочных пород мезозойского и кайнозойского возраста, накопившихся здесь в результате постоянного сноса обломочного материала с соседних поднятий Южного Тянь-Шаня и, в первую очередь, с Северного Памира. Суммарная мощность осадочного чехла указанного возраста в осевой части Таджикской депрессии вблизи поселка Тавиль-Дора (в Тавильдоринском прогибе) достигает 10-15 км. В обнажениях на поверхности осадочные породы представлены конгломератами, красноцветными песчаниками, глинистыми сланцами, гипсами, известняками. К северу от Таджикской депрессии на рассматриваемой территории расположен стабильный на протяжении длительной истории геологического развития района входящий в состав Южного Тянь-Шаня Каратегинский массив, центральной частью которого является горный массив Кабудкорм, сложенный породами докембрийского и палеозойского возраста - кристаллическими сланцами, гнейсами, гранитами. Расположенное к югу от Таджикской депрессии Северо-Памирское поднятие, представлено на рассматриваемой территории Дарвазским хребтом, в пределах которого вскрываются породы палеозойского возраста - песчаники, известняки, мраморы, вулканогенные породы. Перечисленные структурные элементы и основные разрывные нарушения показаны на рис.1.

Геологическое строение и история формирования структуры рассматриваемой территории освещены в большом количестве публикаций, даже простое перечисление которых представляет непростую

временных режимных наблюдений различными геофизическими методами. Именно в этот период Л.И.Боканенко и В.П.Передериним заложены основы успешно функционирующей до сих пор системы деформографических, наклономерных и гидрогеодинамических наблюдений. Впервые в мировой практике были начаты наблюдения за вариациями электрического сопротивления горных пород. К концу 70-х годов под руководством А.Я.Сидорина на полигоне создан комплекс наблюдений за состоянием среды различными электрическими методами, Ю.П.Сковородкиным организована сеть магнитометрических наблюдений, Т.В.Гусевой регулярно проводились геодезические наблюдения. Весьма существенным для всего дальнейшего развития работ на Гармском полигоне моментом явилось оснащение полигона ЭВМ типа "МИР-1" и "МИР-2". Это позволило в 1974 году перейти к машинному определению параметров землетрясений.

В 80-х годах система наблюдений на Гармском полигоне не претерпела каких-либо существенных изменений, и в этот период происходило в основном повышение уровня метрологического обеспечения работ и совершенствование методов обработки данных. К середине 80-х годов уже по целому ряду геофизических параметров были получены достаточно длинные временные ряды данных, что позволило начать их обработку на качественно новом уровне. Этому способствовало также оснащение полигона более мощной ЭВМ типа СМ-4, с помощью которой по всем методам наблюдений организованы базы данных, что явилось необходимой информационной основой проводимых исследований, способствовало развитию новых методов и подходов к анализу первичных данных наблюдений. В частности, на основе анализа статистики механизмов очагов слабых землетрясений С.Л.Гой и А.А.Лукком развиты методы анализа напряженно-деформированного состояния исследуемого района.

В 1988 году в рамках международного эксперимента по контролю за ядерными взрывами на Гармском полигоне установлены цифровые сейсмические станции производства США и Великобритании, а также ЭВМ типа PDP-II/73 и несколько персональных компьютеров.

1.3. Современное состояние системы геофизических наблюдений на Гармском полигоне

Кратко перечислим основные виды геофизических наблюдений, которые проводятся на Гармском полигоне по состоянию на начало

1989 г. Подробное описание аппаратуры, систем наблюдений, методики измерений и обработки данных читатель найдет в соответствующих разделах настоящей монографии.

1.3.1. Деформационные наблюдения.

Непрерывные наблюдения за деформационными процессами проводятся с помощью штанговых кварцевых деформографов, установленных в штольнях. Такими приборами оборудованы станции Гарм, Чусал, Чиль-Дора, Руноу и Сарыпуль. Длина базы измерений колеблется от 19 до 50 м. На всех станциях применяется единая система регистрации - видимая запись с помощью перописца и цифровая регистрация на перфоленту.

На всех станциях, кроме пункта Сарыпуль, установлены два деформографа - СЮ и ВЗ. На станции Гарм и Руноу применены два датчика - основной и дублирующий. На станции Чусал установлено по две кварцевых трубы для каждого направления. На станции Сарыпуль штанговый деформометр ориентирован меридионально, на нем установлены два датчика - на расстояниях 26 и 44 м от точки закрепления.

Частота опроса при цифровой записи составляет один раз в час, фоторегистрация ведется с временной разверткой 48 мм/сутки.

1.3.2. Наклономерные наблюдения.

В пунктах Гарм, Чусал, Чиль-Дора, Руноу ведутся наклономерные наблюдения с помощью маятников системы А.Е.Островского с емкостным датчиком. Приборы ориентированы по направлениям СЮ и ВЗ. На станциях Гарм, Чусал и Руноу регистрация по каждому направлению ведется одновременно двумя приборами.

Система регистрации такая же, как и в деформографических наблюдениях - видимая запись на диаграммную бумагу с помощью перописца (развертка 48 мм/сутки) и цифровая регистрация на перфоленту (частота опроса один раз в час).

1.3.3. Наблюдения за уровнем грунтовых вод.

Наблюдения за уровнем грунтовых вод ведутся на территории

Гармского полигона в шести скважинах – Гарм, Хаит, Тавиль–Дора, Винзавод (1,5 км восточнее станции Гарм) и две скважины вблизи п.Навды (примерно посередине между станциями Гарм и Ялдымич).

Глубина всех скважин от 80 до 400 м, уровень грунтовых вод колеблется от 20 до 60 м.

Регистрация ведется с помощью поплавкового уровнемера, имеющего разрешающую способность порядка 1 мм, используется видеозапись с разверткой 24 мм/сутки.

1.3.4. Регистрация эманации почвенного радона.

Начиная с 1984 г., на полигоне ведутся наблюдения за газоразным радоном, выделяющимся в атмосферу из верхних почвенных слоев. В 1984–1988 г. использовался метод трековых детекторов, который позволял производить только один отсчет в неделю. С ноября 1988 г. применен более совершенный и чувствительный метод камер с статическим электрическим полем, который позволил перейти к гораздо более частому опросу – на первом этапе 2 отчета в сутки и в дальнейшем на почасовой опрос.

Наблюдения по методу трековых детекторов велись на станциях Гарм, Чусал, Чиль–Дора, Сарыпуль и Руноу. Приборы, использующие второй метод, установлены в настоящее время на станциях Гарм, сал, Туратол, Чиль–Дора и Иштион.

1.3.5. Дипольное электрическое зондирование.

Полевым центром электрических, электромагнитных и электрохимических наблюдений является пункт Хазор–Чашма (см. рис.5).

Питающий диполь электрического зондирования находится в Хазор–Чашме, а приемные станции – в Гарме (16 км) и Ялдымиче (8 км). Зондирование проводится ежедневно, в течение получаса. Результаты зондирования фиксируются методом накопления с помощью цифровой регистрации.

1.3.6. Режимное вертикальное электрическое зондирование.

Эти измерения проводятся в Хазор–Чашме, где имеются две взаимно перпендикулярные системы установок с разносами от 6 до

3000 м. Измерения производятся ежедневно с помощью цифровой аппаратуры, использующей метод накопления.

1.3.7. Непрерывные наблюдения с помощью высокочувствительного вариометра сопротивления.

Эти наблюдения также проводятся в Хазор–Чашме. Разнос питающих электродов составляет 3000 м, а приемных электродов – 500 м. Методика осреднения большой серии измерений обеспечивает высокую чувствительность метода – 0,01%. Вывод информации производится каждые четыре минуты. Используемые цифровые регистрирующие устройства обеспечивают прямой ввод данных в ЭВМ.

1.3.8. Электротеллурические наблюдения.

Электротеллурические поля изучаются на Гармском полигоне уже длительное время. На начало 1989 г. непрерывные наблюдения проводились в Хазор–Чашме, Гарме и Чусале. Режим опроса на станции Чусал – каждый час, на двух других пунктах – 2–3 раза в сутки.

1.3.9. Электрохимические наблюдения.

Такие наблюдения ведутся в двух пунктах – в Гарме и Хазор–Чашме. Производятся измерения разности потенциалов между парой электродов из разнородных металлов, а также измерения электропроводности воды источника, изливающегося вблизи Хазор–Чашмы. Замеры каждого из этих параметров производятся ежедневно.

Кроме того, в Хазор–Чашме измеряется уровень воды в ручье, питаемом подземными источниками, температура воды источника, уровень грунтовых вод, уровень снежного покрова и регистрируются метеоданные (температура воздуха, давление и влажность).

1.3.10. Наблюдения за уровнем высокочастотных микросейсм.

На станциях Чусал и Чиль–Дора ведется регистрация уровня высокочастотных микросейсм в диапазоне 15–30 Гц и в узкой полосе частот вблизи 26 Гц. Система работает методом накопления с постоянной времени около одной минуты и оценивает наименьший уровень микросейсм за каждый час. Это значение регистрируется с помощью печатающего устройства.

1.3.11. Гравиметрические наблюдения.

На станции Гарм в течение длительного времени используется комплект гравитационных приборов:

- крутильный сейсмограф для регистрации вращательной составляющей (фотозапись с разверткой 1 см/час);
- гравитационный вариометр для регистрации второй производной силы тяжести (два двухкомпонентных прибора с различной чувствительностью). Применяется три вида регистрации: видимая запись на перописец КСП-1 (развертка 60 мм/час), фотозапись (развертка 10 мм/час) и цифрочечка (один отсчет в час);
- кварцевый гравитационный вариометр (одна составляющая) с фотозаписью (развертка 10 мм/час);
- кварцевые наклонометры НК для регистрации наклонов: четыре прибора (два СЮ и два ВЗ) с разной чувствительностью с фотозаписью (развертка 10 мм/час).

1.3.12. Наблюдения за биологическими объектами.

На Гармской базе КСЭ в течение ряда лет ведутся непрерывные наблюдения за двигательной активностью рыб и насекомых. В качестве объектов наблюдения выбраны сомики и колумбийские тараканы. Сигналы от поплавковых датчиков и чувствительных микрофонов поступают в блоки твердотельной памяти. Имеются четыре канала регистрации. Частота опроса - один раз в час.

1.3.13. Участие КСЭ в международных проектах.

В 1987-1988 гг. экспедиция приняла активное участие в совместном советско-американском сейсмическом эксперименте по сейсмическому контролю за подземными ядерными взрывами. На второй фазе эксперимента одна из станций была перенесена на Гармский полигон и установлена в Чусале, где начата опытная регистрация. Цифровая аппаратура состоит из трехкомпонентного набора длиннопериодных сейсмографов системы А.В. Рыкова, набора скважинных сейсмографов (период 5 с) и комплекта короткопериодных приборов (период 1с), установленных на постаменте в штольне. Два последних комплекта приборов ведут регистрацию на двух уровнях усиле-

ния с частотой опроса 256 раз в секунду.

Кроме того, в Гарме установлена американская станция, которая предназначена для участия в международном сейсмическом эксперименте по непрерывной передаче сейсмической информации в международные центры данных. Помимо цифровой регистрации от длиннопериодного велосиграфа (три компонента), у нее имеется видимая запись вертикальной компоненты. Частота опроса составляет 20 раз в секунду.

1.3.14. Геофизические обсерватории Гарм, Чусал, Чиль-Дора.

В системе наблюдений КСЭ с самого начала ее организации было выделено три опорных пункта с расширенной программой сейсмических, деформационных и иных геофизических наблюдений. Там же проводились полевые испытания новой аппаратуры, ставились временные наблюдения и велись исследования различными отрядами КСЭ и выездными группами из ИФЗ. По многочисленности и разнообразию видов и методов геофизических наблюдений станции Гарм, Чусал и Чиль-Дора с полным правом могут быть названы геофизическими обсерваториями. Кратко перечислим весь комплекс геофизических наблюдений, которые ведутся (непрерывно или в ждущем режиме) в этих трех пунктах по состоянию на начало 1989 г.:

- основной комплект короткопериодной аппаратуры с регистрирующими сейсмографами типа СК-3М. Два прибора с горизонтальным маятником, ориентированным либо на С-Ю, либо на В-З, и один - с вертикальным маятником. Увеличение всех трех каналов около 40 тыс., развертка 120 мм/мин;
- заглубленный комплект трех указанных выше каналов с увеличениями 40, 400 и 4000 от самостоятельных отдельных датчиков, в качестве которых используются сейсмографы типа С5С. Развертка 120 мм/мин;
- комплект среднепериодных приборов СКД-0. Увеличение 1000 - 1500, развертка 30 мм/мин;
- короткопериодная восьмиканальная станция ЧИСС (диапазон от 0,25 до 30 Гц) в Гарме и Чусале; развертка 60 мм/мин; регистрирующий прибор ориентирован вертикально;
- такая же станция ЧИСС в Гарме и Чусале, но с увеличением по каналам в 20-30 раз меньшим. Развертка 15 мм/мин;

- длиннопериодная семиканальная станция ЧИСС (диапазон от 1,2 до 100 с) в Гарме. Развертка 15 и 7,5 мм/мин. На каждом канале регистрация идет на двух уровнях усиления;
- деформационные наблюдения с видимой и цифровой записью;
- наклономерные наблюдения с видимой и цифровой записью;
- механический сейсмограф с чернильной записью. Увеличение около 5, развертка 30 мм/мин, компоненты СЮ и ВЗ;
- короткопериодный сейсмический канал с видимой записью в Гарме и Чусале. Компонента Z, увеличение 500-800 тыс., развертка 120 мм/мин;
- высокочувствительный короткопериодный канал в Чусале. Компонента Z, увеличение около 200 тыс., развертка 120 мм/мин;
- длиннопериодный сейсмический канал с видимой записью от СКД в Гарме. Вертикальная составляющая, увеличение 200, развертка 30 мм/мин;
- регистрация уровня высокочастотных микросейсм методом накопления в диапазоне 15-30 Гц и в узкой полосе частот около 26 Гц. Почасовой опрос с фотопечатающим устройством. Ведется только в Чусале и Чиль-Доре;
- приборы для записи сильных движений, работающие в ждущем режиме: акселерограф АСЗ-2, три составляющие - в Гарме и Чусале; акселерограф УАР - в Гарме; сеймоскопы СЕМ и ММН-2 (АИС) - в Гарме;
- термограф, барограф и гигрограф - стандартные приборы с недельным регистратором, микробарограф - видимая запись, развертка 1 см/час. Установлены только в Гарме;
- комплекс сейсмогравитационных приборов, перечисленных выше в I.3.II. Установлен только в Гарме;
- трехкомпонентная сейсмическая установка телеметрической сети в Гарме;
- комплект аппаратуры, предусмотренной международным сейсмическим экспериментом, с цифровой регистрацией на магнитную ленту и выводом аналоговой записи на тепловую бумагу. Имеется только в Гарме.

Глава 2. СТАЦИОНАРНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГАРМСКОМ ПОЛИГОНЕ

2.1. Документация сейсмических станций

Для обозначения сейсмических станций использовалась их численная нумерация. В дальнейшем, когда в составе Комплексной сейсмологической экспедиции (КСЭ) появилось несколько сейсмических групп помимо Гармской, расположенных в различных регионах Средней Азии и Казахстана, Алтая и Сибири, нумерация сейсмических станций в группах осуществлялась в виде дроби, числителем которой был номер станции, а знаменателем - номер сейсмической группы (или полевого отряда КСЭ). Гармской группе (отряду) был присвоен номер I, поэтому все станции Гармского полигона имеют нумерацию I/I, 2/I, 3/I и т.д. Эта нумерация указывается и на сейсмограммах в большинстве случаев.

В табл. I приведены номера станций, их трехбуквенный код, полное название, сроки открытия и закрытия наблюдений на данной станции, координаты пункта наблюдений - широта и долгота (с точностью до минуты) и высота места расположения. Важно отметить, что под одним и тем же номером в ряде случаев были обозначены совершенно различные стоянки: так, станция № 9 была последовательно расположена в пунктах Куль, Ляхи и Туратол. Поэтому в дальнейшем изложении будем пользоваться только сокращенными названиями станций, а не их цифровыми обозначениями.

Из табл. I следует, что для ряда станций при сохранении номера и названия станции указаны две различные стоянки. Это сделано только для тех случаев, когда аппаратура переносилась на расстояния не более одного километра. Такая ситуация возникла, например, в 1961-1962 гг., когда на ряде станций были сделаны более капитальные камеры в скальном грунте для размещения приборов.

На станциях Гарм, Чусал и Чиль-Дора, где ведется широкий фронт геофизических наблюдений, сейсмоприемники расположены в конце протяженных штолен, пробуренных в коренных породах. На остальных станциях приборы расположены в небольших камерах, пробитых в скальных грунтах.

На рис. 5 приведена карта всех пунктов сейсмических наблюдений, как работавших лишь временно ранее, так и работающих в на-



Таблица I.
Сведения о координатах и сроках наблюдений сейсмических станций Гармского полигона

номер	С т а н ц и и		Срок наблюдений			К о о р д и н а т ы			Высота м
	код	название	с	по	с.ш.	в.д.	в.д.		
I	2	3	4	5	6	7	8		
I/I	ТВД	Тавиль-Дора	1.09.54	2.11.62	38 41'	70 29'	1640		
2/I	ИШТ	Иштон	5.11.62	31.10.62	38 41	70 29	1670		
3/I	ГРМ	Гарм	1.09.54	14.03.61	38 50	70 47	1860		
4/I	ЯЛД	Ялдамич	1.11.62	3.06.62	38 50	70 46	1880		
-	ЯНГ	Янгальки	1.01.49	10.05.56	39 00	70 18	1350		
-	НИМ	Нимич	15.03.61	13.06.56	39 00	70 19	1370		
5/I	ДФР	Джафр	1.09.54	26.06.62	39 03	70 26	1400		
6/I	ЧСД	Чусал	4.06.62	27.02.62	39 03	70 26	1410		
7/I	ДЖТ	Джиргатай	1.09.54	16.10.66	39 05	70 33	1400		
7/I	КФТ	Кафтар-Гузар	1.09.54	18.06.69	39 06	70 40	1650		
8/I	ИОР	Иордан	28.08.56	27.02.62	39 06	70 35	1640		
			27.06.62	27.02.62	39 06	70 35	1650		
			1.09.54	28.02.62	39 06	70 45	1650		
			28.02.62	1.04.52	39 06	70 45	1670		
			1.04.52	29.12.66	39 13	71 13	1820		
			29.12.66	14.10.60	38 50	70 09	1800		
			14.10.60		39 57	71 45	1100		

I	2		3		4		5		6		7		8	
	код	название	с	по	с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.
8/I	САД	Саед	22.11.69	12.07.80	38 46	70 38	2000							
9/I	КУЛ	Куль	27.10.66	29.05.67	39 00	70 27	2200							
9/I	ЛХШ	Ляхш	26.02.67	15.05.72	39 21	71 35	2200							
9/I	ТРТ	Туратол	28.08.72	26.09.67	39 15	70 46	1890							
10/I	РВЗ	Руоз	17.11.66	23.08.70	39 06	70 12	1400							
10/I	СНГ	Санги-Кар	29.10.67	39 02	70 08	1400								
11/I	ШАК	Шакоу	10.11.61	38 46	70 19	1700								
11/I	ЧД	Чиль-Дора	26.08.70	38 46	70 18	1700								
12/I	СРН	Саринай	1.12.62	11.10.76	39 04	70 52	2200							
12/I	ШСТ	Шестопапов	21.01.79	27.07.83	39 13	71 11	2000							
13/I	ХАТ	Хайт	13.12.61	31.12.64	39 12	70 53	1800							
14/I	РУН	Руноу	1.01.65	17.01.79	39 10	70 53	1800							
15/I	ЛНГ	Лянгар	16.12.70	38 58	70 24	1720								
-	ХРТ	Хорог	11.10.72	38 54	71 03	2200								
-	ХЧШ	Хазор-Чашма	10.09.62	37 29	71 34	2400								
			-	38 59	70 29	2300								

стоящее время в системе КСЭ. На карте также указан пункт Хазор-Чашма (ХЧШ), который является центром проведения различных электрометрических и других геофизических измерений.

Как уже отмечалось ранее в разделе Г.2, на начальном этапе, в 1954–1956 гг., на Гармском полигоне работало восемь станций: ИШТ, ТВД, ГРМ, ЯЛД, НИМ, ЧСЛ и ДЖТ. В мае–июне 1956 г. станции ЯНГ и НИМ были закрыты и вместо них установлена станция ДФР. Такая сеть из семи станций проработала до конца 1961 г. В конце 1961 г. были установлены две новые станции: Хаит – на восточном фланге полигона, находящаяся непосредственно в эпицентральной зоне разрушительного землетрясения 1949 г., и станция Шакоу – на юго-западном крае района наблюдений. В августе 1970 г. станция Шакоу была перенесена на несколько километров южнее, в поселок Чиль-Дору, где к тому времени была пробита штольня и построены необходимые помещения. В декабре 1962 г. на северных склонах хребта Петра Первого, южнее станции Хаит, начала регистрацию станция Саринай, прекратившая наблюдения в октябре 1976 г. Таким образом, в 1962–1966 гг. Гармская сеть состояла из десяти станций: ИШТ, ТВД, ШАК, ГРМ, ЯЛД, ДФР, ЧСЛ, ХАТ, СРН и ДЖТ.

Для повышения эффективности сети юго-западной части полигона в декабре 1966 г. начала регистрацию станция Кафтар-Гузар, которая продолжает работать до настоящего времени. Тогда же западнее Гарма была установлена станция Руоз, расположенная в долине р.Сорбог, в нескольких километрах от ее впадения в Сурхоб. Однако через год станция была переведена в ущелье р.Санги-Кар, где находится до настоящего времени. В октябре 1966 г. начала действовать станция Куль, расположенная на северных отрогах хр.Петра Первого, южнее станции Ялдымич. Однако место оказалось неудачным: мощные толщи молодых отложений сильно осложняли волновую картину и выделение первых вступлений. Через несколько месяцев станцию пришлось закрыть. В октябре 1966 г. станция Джиргаталь была передана в состав сети ТИССС АН Тадж.ССР и сейсмограммный материал перестал поступать в КСЭ. Для получения более представительных данных по сейсмичности восточной части полигона и примыкающих территорий примерно через год после закрытия станции ДЖТ была пущена в эксплуатацию станция Ляхш, расположенная в 35 км северо-восточнее Джиргаталья. К сожалению, эта полезная станция была закрыта в мае 1972 г. в связи со значительной удаленностью от

новой базы экспедиции. Таким образом, в 1966–1969 гг. Гармская сеть состояла из 12 станций: ИШТ, ТВД, ШАК, КФГ, СНГ, ГРМ, ЯЛД, ДФР, ЧСЛ, ХАТ, СРН, ЛХШ.

В 1970–1972 гг. произошли следующие изменения: в ноябре 1969 г. начала наблюдения станция Саед, расположенная посередине между Иштином и Тавиль-Дорой. Эта станция оказалась очень полезной для уточнения положения эпицентров как Дарваз-Каракульской разломной зоны на юге полигона, так и осевой части хр.Петра Первого. К сожалению, в июле 1980 г. эта станция была закрыта. В декабре 1970 г. начала действовать станция Руноу, просуществовавшая до начала 1979 г. Для ослабления неблагоприятного влияния линейной ориентации станций северного профиля в августе 1972 г. была открыта станция Туратол, расположенная северо-западнее Хаита в ущелье р.Оби-Кабуд. А в юго-восточном углу планшета начала регистрацию станция Лянгар. Обе эти станции успешно работают и по настоящее время.

После 1972 г. последовательно были закрыты станции Ляхш (май 1972 г.), Саринай (октябрь 1976 г.), Руноу (январь 1979 г.) и Саед (июль 1980 г.). С января 1979 г. по июль 1983 г. в нескольких километрах западнее п.Джиргаталь вела наблюдения станция "Шестопалов". Однако выбор места для этой станции нельзя признать удачным из-за высокого уровня помех и нечеткости волновой картины местных землетрясений, по причине чего станция была закрыта.

В дальнейшем развитие и расширение сети станций шло по пути применения радиотелеметрической аппаратуры.

2.2. Способы сейсмической регистрации в начальный период развития Гармского полигона

Основной особенностью сейсмической регистрации в интервале времени с сентября 1954 г. по август 1956 г. являлось применение азимутальной четырехкомпонентной установки с наклонными сейсмографами [43, 44]. В этой установке датчики крепились к башмакам, имевшим форму равнобедренного прямоугольного треугольника. К гипотенузе такого башмака крепился сейсмоприемник, а сам башмак катетом закреплялся на круглой платформе, расположенной строго горизонтально. Длинные оси приборов располагались строго по сто-

ронам света – соответственно четыре компонента регистрации имеют обозначения С, В, Ю и З. По замыслу авторов предполагалось, что такое расположение приборов облегчит определение как азимутов подхода, так и углов выхода и позволит использовать даже данные одной станции для определения положения эпицентра.

Однако на практике такая процедура оказалась весьма громоздкой и неустойчивой. Поэтому в июле–августе 1956 г. азимутальные установки были заменены обычными трехкомпонентными (СЮ, ВЗ и З), где в качестве сейсмоприемников использовались приборы ВЭИК, собственный период которых первоначально составлял 0,65 с, а затем был увеличен до 0,8 с. Прибор мог с равным успехом работать как в режиме вертикального, так и наклонного горизонтального датчика. В схеме гальванометрической регистрации за основу был взят гальванометр ГВ–IV, собственная частота 10–15 Гц, в качестве регистратора использовался давно зарекомендовавший себя РС–II. Подбором затуханий сейсмографа и гальванометра была сформирована частотная характеристика с плоской частью в диапазоне смещений от 1,2–1,5 Гц до 30–50 Гц. Регистрация велась на фотобумагу шириной 280 мм, с разверткой 240 мм/мин и шагом подачи винта 0,5 мм. Такая плотная упаковка позволяла вести непрерывную регистрацию в течение восьми часов, т.е. производить смену лент три раза в сутки.

Была разработана и вспомогательная аппаратура, в частности перекальное устройство, усиливающее яркость накала лампочки осветителя во время землетрясения. Контроль стабильности частотных характеристик производился путем подачи калибровочного сигнала от генератора МПТА в катушку возбуждения. Для улучшения служб времени на всех станциях устанавливались морские хронометры с минутным контактом, что позволило автоматически записывать на сейсмограмму сигналы точного времени.

Важно отметить, что все эти нововведения и усовершенствования были разработаны в ТКЭС и применены в сейсмометрии впервые. Разработанная схема регистрации оказалась настолько продуманной и надежной, что сохранилась в своих основных чертах до наших дней. Впоследствии она была применена во всех без исключения региональных сейсмологических работах, проводимых различными научными организациями на территории Союза.

Детальное описание стандартной сейсмической аппаратуры, применяемой в КЭС в течение многих лет (сейсмографы, гальванометры, регистраторы, усилители, вспомогательные устройства), можно найти в подробной инструкции, вышедшей в 1971 г. [48]. В ней также описана методика проведения наблюдений – развертывание сейсмических станций, контроль за аппаратурой, устранение ее типичных неисправностей и т.п.

Одновременно с формированием стандарта аппаратного обеспечения разрабатывались стандарты документации сейсмограммного материала, его первичной обработки, а также дальнейшей его обработки и интерпретации на уровне куста станций. Эти методические разработки были выполнены в 1956–1958 гг. и описаны в известной монографии [47]. Методика проведения наблюдений, их обработки и способы интерпретации, изложенные в этой монографии, послужили основой для всех последующих исследований.

2.3. Типичные варианты схем регистрации на сейсмических станциях Гармского полигона

Под "схемой регистрации" мы подразумеваем весь комплекс параметров, существенных для сейсмолога–интерпретатора. Сюда входит форма и уровень частотной характеристики – прежде всего полоса пропускания и положение ее низкочастотного среза, контролируемое периодом сейсмоприемника, увеличение в пределах полосы пропускания. Важной характеристикой является количество одновременно работающих регистраторов и число трасс на каждой ленте, регистрируемые компоненты смещения почвы и величина временной развертки. Важно знать также параметры КПЧ – каналов пониженной чувствительности, степень закругления на них и регистрируемая компонента движения почвы. И, конечно, необходимо указать временные интервалы, в течение которых применялась та или иная схема регистрации.

Схемы регистрации, применявшиеся на Гармском полигоне, могут быть типизированы на несколько основных вариантов, которые в дальнейшем описании обозначим римскими цифрами (от I до V). Модификации внутри одного варианта обозначим как I А или II Б и т.д. В тех случаях, когда регистрация велась одновременно на две ленты, они обозначены как а) и б).

Схема I. Два регистратора. а) Четырехкомпонентная азимутальная установка (С, В, Ю и З) с наклонными (под углом 45° к горизонту) сейсмографами ВЭИК (собственный период 0,65–0,7 с). Увеличение порядка 15–20 тыс. Регистрация четырех трасс осуществляется на одну ленту с разверткой 240 мм/мин. б) Высокочастотный прибор МПС-I (частота 25 Гц), полоса пропускания 20–30 Гц, увеличение в пределах полосы около 200 тыс., и логарифматор – прибор с нелинейной частотной характеристикой, который описан [47]. На некоторых станциях вместо логарифматора был установлен канал пониженной чувствительности (КПЧ), гальванометр которого подключался через шунт к одному из приборов ВЭИК основной установки. На одну ленту регистрируются две трассы. Развертка 240 мм/мин. Эта схема применялась в течение первых двух лет работы ТКЭ – с сентября 1954 г. по июль 1956 г.

Схема II. Один регистратор. На ленте четыре трассы. Трехкомпонентный комплект приборов ВЭИК (собственный период 0,8–1,0 с, увеличение каждого канала 15–25 тыс. Четвертая трасса – вертикальный виброграф Харина с периодом 1,5 с, увеличение канала 50, полоса пропускания 0,7–3 Гц. На некоторых станциях вместо вибрографа Харина был КПЧ от одного из приборов ВЭИК основной установки с увеличением 200–1000. Кроме того, на нескольких станциях где был установлен виброграф Харина, велась регистрация пятым каналом – с установкой световой точки ("зайчика") на узкую ширину и записью на ленту только амплитуд больших, чем ширина ширмы [47]. Этот канал обычно был подключен через шунт к прибору ВЭИК основного комплекта ВЭИК и имел увеличение около 1000. Развертка – 240 мм/мин. Такая схема применялась в течение нескольких лет – с сентября 1956 г. по 1960–1961 гг. на станциях Гармского и Нарынского отрядов КСЭ.

Схема II А. Основные характеристики аппаратуры такие же, как в схеме II, только период сейсмографов ВЭИК увеличен до 0,9–1,0 с и в КПЧ вместо вибрографа Харина применен вертикальный прибор ВВП (виброграф больших перемещений) с полосой пропускания 0,5–1,0 Гц и увеличением 15–20. Такая схема была на станциях Гармского полигона в 1960–1961 гг., а на некоторых станциях и до 1963–1964 гг.

Схема III. Одна лента (четыре трассы). Основной трехкомпонентный комплект приборов использует сейсмоприемники СКМ (период

2,0 с), увеличение на разных станциях сильно варьирует – от 18 до 70 тыс. В качестве КПЧ на четвертой трассе – заглубленная запись от одного из горизонтальных датчиков СКМ с увеличением от 150 до 1500. Временная развертка почти на всех станциях 240 мм/мин (до января 1965 г.) и 120 мм/мин (с января 1965 г.). Такая схема регистрации была с 1961–1962 гг. и до 1968–1969 гг. почти на всех станциях Гармского и Памирского отрядов КСЭ.

Схема III А. Все параметры такие же, как в схеме III. Для упрощения амплитудных измерений увеличение на всех трех компонентах стандартизировано и равно 40 тыс., увеличение КПЧ на большинстве станций равно 1000. Развертка 120 мм/мин. Переход на стандартное увеличение 40 тыс. в основном произошел в 1967–1968 гг.

Схема IV. Одновременно две ленты. а) Основной комплект, три компонента от приборов СКМ (период 2,0 с), увеличение 40 тыс., развертка 240 мм/мин, смена лент три раза в сутки; б) три трассы КПЧ: компонента В-З (увеличение 100), компонента С-Ю (увеличение 5000) и компонента Z (увеличение 1000). Развертка 120 мм/мин, смена лент один раз в сутки. В комплекте КПЧ постепенный переход от параллельной записи через шунт от основного прибора к формированию канала с отдельным датчиком. Такая схема применялась на большинстве станций с мая–августа 1969 г., а на некоторых – с 1971–1972 гг.

Схема IV А. Одновременно ведут регистрацию два регистратора. а) Основной трехкомпонентный комплект приборов СКМ (собственный период 1,5 с); увеличение 40 тыс., развертка 120 мм/мин, смена лент два раза в сутки; б) комплект КПЧ, в котором каждый канал от самостоятельного датчика. На ленте три трассы: компонента В-З (прибор С5С, период 5 с, увеличение 40), компонента С-Ю (прибор СКМ, период 2 с, увеличение 4000) и компонента Z (прибор С5С, период 5 с, увеличение 400). Смена лент один раз в сутки. Почти на всех станциях такая стандартная схема регистрации начала действовать с 1974 г., реже с 1975 г. В основных чертах такая схема сохранилась и до настоящего времени (1989 г.).

После 1975 г. в аппаратном оснащении станций произведены некоторые изменения. В частности, в 1976–1977 гг. на всех станциях вместо прямой гальванометрической регистрации (сейсмограф – гальванометр) через систему шунтов) используется схема, в кото-

рой между сейсмографом и гальванометром включен интегрирующий усилитель. Это существенно упрощает процесс унификации формы уровней частотных характеристик каналов. Значение увеличения не рассчитывается, а определяется экспериментально, при помощи звукового генератора, по данным измерений аппаратуры колебания подвижной системы датчика с помощью микроскопа. Эти изменения не затронули комплект КПЧ. Кроме того, в 1977 г., существенно улучшилась служба времени — морские хронометры были заменены кварцевыми часами, вариации хода которых обычно не превышают 0,1 с в сутки.

В течение 1986–1988 гг. была проведена смена датчиков. Огромных приборов СКМ (применение которых диктовалось необходимостью получения больших увеличений в схеме прямой гальванометрической регистрации) перешли к компактным приборам СМ-3 КВ с тем же значением периода собственных колебаний — 1,5 с. Одновременно с заменой сейсмографов была проведена замена усилителей на более экономичные, выполненные на микросхемах и обеспечивающие интегрирование в более широкой полосе частот, чем прежние усилители.

2.4. Основной комплект сейсмической аппаратуры

2.4.1. Сейсмографы.

В азимутальной установке с наклонными приборами (сентябрь 1954 г. — июль 1956 г.) использовались сейсмографы ВЭГИК, которые имели период 0,65–0,7 с. При переходе на обычные трехкомпонентные установки период сейсмоприемников был увеличен до 0,8 с. Такие небольшие значения периода и, следовательно, положения низкочастотного среза характеристики прибора, обеспечивали высокий уровень микросейсм на сейсмограмме и четкую запись местных толчков.

В 1960 г. круг задач, решаемых экспедицией, резко расширился, и возникла необходимость неискаженной регистрации более удаленных и, следовательно, более низкочастотных сигналов. Это потребовало расширения полосы пропускания в сторону больших периодов. Для таких целей потребовался более низкочастотный датчик, имеющий к тому же и значительно больший момент инерции, чтобы достигнуть увеличений порядка 60–80 тыс., достичь которых с помощью

ВЭГИКа, сохраняя форму частотной характеристики неизменной, было практически невозможно.

Поэтому в 1961–1962 гг. станции были переведены на сейсмоприемники типа СКМ-Ш, установленные на период 1,5 с. Это позволило поднять увеличение до 40–60 тыс. В дальнейшем, в 1962–1964 гг., период был увеличен до 2 с из-за необходимости уменьшить искажения при записи удаленных сигналов. Однако такое незначительное расширение низкочастотного среза характеристики (примерно с 1,3 с до 1,65 с) привело к существенному росту на записи низкочастотных микросейсм. Это, конечно, усложнило выделение слабых событий и существенно затруднило определение времен вступлений. Поэтому с середины 1974 г. все сейсмоприемники были установлены на период 1,5 с. С тех пор положение низкочастотного среза характеристики основных каналов сохраняется неизменным, несмотря на переход в 1987–1988 гг. на новый тип датчика СМ-3 КВ.

До перехода на новый тип датчика сейсмографы устанавливались на бетонный постамент, прочно связанный с коренными породами. Датчики же СМ-3 КВ устанавливаются на алюминиевую плиту толщиной 40 мм, которая жестко связана с постаментом. Сейсмографы привинчены к этой плите при помощи четырех болтов.

Как известно, именно период сейсмоприемника контролирует положение низкочастотного среза частотной характеристики всего сейсмического тракта как при прямой гальванометрической регистрации, так и при использовании интегрирующего усилителя. Что же касается высокочастотного среза характеристики, то он мало меняется при варьировании параметров датчика и обычно для стандартных каналов находился в интервале 30–60 Гц. Поэтому на рис. 6 приводим форму только низкочастотного склона амплитудно-частотной характеристики основных вариантов стандартных сейсмических каналов.

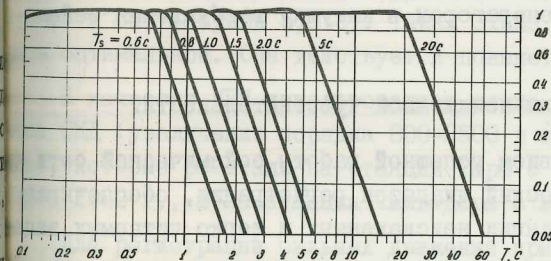


Рис. 6. Нормированные амплитудно-частотные характеристики основных вариантов регистрирующих каналов сейсмических станций Гармского полигона.

2.4.2. Значения увеличений на каналах основной установки.

Начиная с 1967–1968 гг. на всех станциях КСЭ Гармского пояса установлено одинаковое увеличение на всех трех компонентах равное 40 тыс. Исключение составляет лишь станция Лянгар, на которой в летнее время в связи с высоким уровнем помех увеличения снижают до 20 тыс., а иногда и до 10 тыс.

До указанного выше срока увеличения были различными как на разных станциях, так, зачастую, и на разных компонентах. Обычно они составляли 30–60 тыс. Сами значения увеличений обязательно написаны на каждой сейсмограмме. К сожалению, такое правило стало действовать только с конца 1960 г. Для более ранних сроков можно лишь указать, что в 1956–1958 гг. увеличения составляли 15–30 тыс., а начиная с 1959 г. почти на всех станциях установлено стандартное увеличение 20 тыс., которое сохранялось до перехода на сейсмограф СКМ, т.е. до перехода на схему Ш.

На станции Джиргаталь параметры аппаратуры значительно отклонились от стандартных, поэтому укажем их подробнее. В 1956–1959 гг. регистрация велась трехкомпонентным комплектом приборов общего типа (СК, период 12,5 с, увеличение около 1000) и вертикальным вибрографом Харина. С апреля 1960 г. по октябрь 1966 г. на двух трассах велась запись горизонтальных приборов СК (увеличение 100–150 и 800–1000), а на двух других – вертикального горизонтального приборов ВЭИМК (период 1,0 с, увеличение 8–10 тыс.).

Напомним, что до 1975–1976 гг. увеличения вычислялись по известным формулам на основе экспериментально определенных параметров датчика и гальванометра. После перехода на схему с интегрирующим усилителем увеличения определяются экспериментально при наблюдении в микроскоп колебаний датчика от электрических сигналов, подаваемых генератором в катушку возбуждения сейсмографа.

2.4.3. Каналы пониженной чувствительности.

Обязательным условием успешной работы сейсмической сети является широкий динамический диапазон регистрации, обеспечивающий получение на каждой станции неискаженных и легко читаемых записей

сей сильных землетрясений. Эта задача решалась несколькими способами по мере развития сети.

Примененный на первом этапе логарифматор (схема I) не годился для количественных оценок амплитуд и от него пришлось отказаться. Позднее для этих целей использовался виброграф Харина (схема II), записи которого пригодны для количественной интерпретации. Сменивший его в 1960–1961 гг. прибор ВВП при длительной регистрации оказался непригодным. В большинстве случаев записи отсутствовали по различным техническим причинам. Поэтому в 1962–1963 гг. от ВВП пришлось отказаться, и основным типом КПЧ была запись через шунт от сейсмографа основной установки (схема III). Однако в такой схеме имеется всего один КПЧ, что приводит к значительной потере информации.

Опыт наблюдений показал, что для успешной работы в широком динамическом диапазоне регистрируемых событий необходимо иметь по крайней мере три КПЧ (помимо основного канала) с увеличениями, последовательно уменьшающимися примерно в 10 раз. Это потребовало установки на всех станциях второго регистратора (установка "шунт"), что и было сделано в середине 1969 г. (схема IV). В этой схеме было три КПЧ с увеличениями 5000, 1000 и 100 для компонент С–Ю, Z и В–З соответственно. Однако эти каналы были лишь ответвлениями от основных и не имели самостоятельных датчиков. Следовательно, их частотные характеристики имели одинаковую форму.

Для получения неискаженных записей более сильных землетрясений возникла необходимость расширения частотных характеристик КПЧ в сторону низких частот. Постепенно на различных станциях в 1972–1975 гг. происходил переход к наиболее оптимальной схеме IV А – три КПЧ с увеличениями 4000, 400 и 40 для компонент С–Ю, Z и В–З соответственно от отдельных сейсмографов СКМ (период 2,0 с) и С5С (период 5,0 с). Такая схема организации КПЧ оказалась оптимальной. Она действует и поныне.

В качестве КПЧ использовались также комплекты приборов Кирноса СКД (увеличение порядка 800–2500 в широком диапазоне периодов), которые работали на станции Гарм с 1950 г., на станции Чукал с 1968 г., и на станции Чиль–Дора с мая 1977 г.

Для регистрации сильных движений при ощутимых сотрясениях

были предназначены механические сейсмографы СМТР, установленные на станциях Гарм, Чусал, Чиль-Дора. Эти приборы регистрировали две горизонтальные компоненты при помощи перописывающего устройства с увеличением порядка 7 в полосе от 5 с и меньше. Кроме того, для регистрации ощутимых землетрясений на ряде станций полигона были расставлены приборы сильных движений, работавшие в ждущем режиме.

2.4.4. Временная развертка регистрации.

С начала наблюдений до января 1965 г. почти на всех станциях Гармского полигона была принята временная развертка 240 мм/мин. Лишь на станции Джиргаталь всегда была развертка 120 мм/мин. После начала 1965 г. примерно до середины 1969 г. почти на всех станциях была установлена развертка 120 мм/мин. Далее с середины 1969 г. до мая 1974 г. у большинства станций на записи основного комплекта была развертка 240 мм/мин, а комплекта КПЧ - 120 мм/мин. После мая 1974 г. все станции Гармского полигона в связи с дефицитом фотобумаги были переведены на развертку 120 мм/мин на обоих регистрирующих установках, которая сохранилась и до настоящего времени.

Периоды времени, в течение которых на различных станциях была развертка 240 мм/мин, приведены в табл.2. В другие сроки на этих станциях была развертка 120 мм/мин. На станциях же Джиргаталь, Кафтар-Гузар, Саед, Ляхш, Руноу и на всех станциях Памирского отряда (отряд № 2) всегда была развертка 120 мм/мин.

2.5. Нестандартная сейсмическая аппаратура

Помимо стандартной короткопериодной аппаратуры разного уровня увеличения, описанной в предыдущих разделах, на станциях Гармского полигона устанавливалась и вела длительную регистрацию иная сейсмическая аппаратура. Наблюдения такой нестандартной аппаратурой проводились главным образом на станциях Гарм, Чусал и Чиль-Дора. Здесь описаны только те установки, которые работали сравнительно долгое время и сейсмограммные материалы которых хранятся в Гармском архиве КСЭ.

2.5.1. Длиннопериодная аппаратура.

Первым длиннопериодным прибором, работавшим в Гарме, был

Таблица 2.

Сроки работы сейсмических станций на временной
развертке 240 мм/мин

№№	Название	Срок работы	
		с	до
1/1	Тавиль-Дора	сентябрь 1954 г. август 1969 г.	январь 1965 г. май 1974 г.
2/1	Иштион	сентябрь 1954 г. январь 1974 г.	январь 1965 г. май 1974 г.
3/1	Гарм	сентябрь 1974 г. июль 1969 г.	январь 1965 г. июль 1970 г.
4/1	Ялдимич	сентябрь 1954 г. май 1969 г.	январь 1965 г. май 1974 г.
5/1	Джафр	июнь 1956 г. май 1969 г.	январь 1965 г. май 1974 г.
6/1	Чусал	сентябрь 1954 г. июль 1969 г.	январь 1965 г. май 1974 г.
9/1	Туратол	декабрь 1972 г.	май 1974 г.
10/1	Санги-Кар	декабрь 1973 г.	май 1974 г.
11/1	Шакоу	ноябрь 1961 г.	январь 1965 г.
12/1	Саринай	июль 1969 г.	май 1974 г.
13/1	Хаит	июль 1972 г.	май 1974 г.

сейсмонаклономер системы А.Е.Островского [49]. Частотная характеристика этого прибора (по смещению) имела полосу пропускания от 2 до 100 с, увеличение около 100. Запись велась с разверткой 7,5 мм/мин. В архиве КСЭ сохранились сейсмограммы более чем трехлетнего периода регистрации - с конца 1952 г. до середины 1955 г.

В конце 1962 г. на станции Гарм был установлен макет длиннопериодного прибора, разработанного Г.И.Аксеновичем. Комплект двух горизонтальных приборов вел непрерывную регистрацию до марта 1971 г. Полоса пропускания примерно составляла 10-50 с, увеличение в различные периоды времени от 400 до 1100, развертка 15 мм/мин.

Начиная с апреля 1971 г. и до января 1984 г. на станции Гарм

непрерывно работал стандартный комплект СД-I. Полоса пропускания составляла 18-55 с, развертка 15 мм/мин, количество компонент было различным в течение срока наблюдения, увеличение изменялось от 100 до 800.

2.5.2. Среднепериодная аппаратура.

С самого начала наблюдений на станции Гарм (январь 1949 г.) велась непрерывная регистрация трехкомпонентным комплектом приборов общего типа: сейсмографы СВК и СК с периодом 12,5 с, увеличение каналов в разные периоды времени от 700 до 2500, временная развертка 60 мм/мин. К сожалению, до начала 1955 г. значительного увеличения на лентах СК не надписывалось. В конце 1958 г. помимо трех компонент был добавлен КПЧ (компонента ВЗ) с увеличением в разные периоды времени от 25 до 150. Комплект приборов СК проработал до марта 1970 г., когда он был сменин на комплект приборов СКД-0, с собственным периодом маятника 20 с., работающий на станции Гарм до настоящего времени. На станции Гарм с апреля 1970 г. по май 1985 г. оба горизонтальных канала имели увеличение 1500, а вертикальный - 1000. Кроме того, четвертой трассой был КПЧ с увеличением 25-40. С мая 1985 г. и по настоящее время на всех трех каналах СКД-0 увеличение равно 1000, а на КПЧ - 25.

В ноябре 1967 г. на станции Чусал начала регистрацию трехкомпонентная установка приборов общего типа (период сейсмографов 12,5 с, увеличение около 2500 на горизонтальных приборах и 1000 - на вертикальном). В апреле 1970 г. вместо СК были установлены приборы СКД-0 (период 20 с, увеличения остались прежними). Третий комплект приборов СКД-0 начал регистрацию в мае 1988 г. на станции Чиль-Дора (период маятника 20 с, увеличение на всех каналах 1500).

Временная развертка на всех трех станциях, оборудованных приборами СКД-0, была 30 мм/мин. С начала 1981 г. на каждую ленту всех трех комплектов СКД-0 подается калибровочный импульс, по форме которого можно судить об исправности сейсмического тракта.

Таким образом, с мая 1977 г. на Гармском полигоне ведут непрерывную регистрацию три станции, оборудованные трехкомпонентным комплектом приборов СКД-0.

2.5.3. Нестандартная короткопериодная аппаратура.

Первые отечественные короткопериодные сейсмографы были разработаны Д.А.Хариним и прошли полевые испытания на станции Иштис в 1950 г. В середине 1951 г. на станции Гарм был установлен комплект приборов СХ (три компонента, полоса пропускания 1-3 Гц, увеличение около 30 тыс., временная развертка 60 мм/мин). Эти приборы вели непрерывную регистрацию до осени 1954 г., когда они были заменены приборами ВЭИК (схема I).

В начале шестидесятых годов был разработан В.Д.Павловым [50] и прошел полевые испытания высокочувствительный короткопериодный канал, в основу которого была положена стандартная аппаратура, параметры которой изменены включением реактивных сопротивлений (емкостей). В марте 1962 г. такой канал начал постоянную регистрацию на станции Чусал, которая была выбрана для этих целей в связи с низким уровнем помех. Регистрировалась вертикальная составляющая, в качестве датчика использовался прибор СКМ. Полоса пропускания частотной характеристики канала составляла 0,75-0,95 с, среднее увеличение порядка 170-210 тыс., а временная развертка равна 120 мм/мин. Примерно с такими же характеристиками этот канал работает до настоящего времени.

2.5.4. Сейсмические каналы видимой записи.

Все сейсмические каналы, описанные выше, за исключением механических сейсмографов СМТР с перописцем, использовали метод фоторегистрации.

С начала шестидесятых годов КСЭ начала проводить сейсмические наблюдения с помощью передвижных станций в различных районах СССР. Мобильность таких систем наблюдений, необходимость быстрого их развертывания требовали отказа от фоторегистрации и перехода на видимую чернильную запись с помощью различного типа перописцев. Первоначальные варианты таких устройств описаны в статье Г.И.Аксеновича и др. [51]. Были также разработаны сейсмические каналы - установки типа КСЭ или РВЗТ, отвечающие поставленным задачам и состоящие из датчика, интегрирующего усилителя с регулируемым усилением и перописца.

На Гармском полигоне в связи со стационарным и долговремен-

ным характером наблюдений таких установок видимой записи всего три. На станциях Гарм и Чусал с конца шестидесятых годов непрерывно работают два перописца типа КСЭ со следующими параметрами сейсмического канала: полоса пропускания 0,6–1,1 с, регулируемое увеличение (обычно от 400 тыс. до 1 млн.), вертикальный датчик СКМ или СМ-2, развертка 120 мм/мин. Кроме того, на станции Гарм работает длиннопериодный канал с видимой записью (перописец КСЭ). Датчиком служит сейсмограф СКД-0 (период 20 с), увеличение канала составляет около 200, полоса пропускания от 0,1 до 18 с, временная развертка 30 мм/мин.

2.6. Частотно-избирательные сейсмические станции в системе наблюдений КСЭ

В течение многих лет для приближенного описания спектрального состава сейсмических волн в КСЭ успешно используются записи частотно-избирательных сейсмических станций (ЧИСС). Пройдя апробацию в КСЭ, ЧИСС-сейсмометрия впоследствии стала применяться в ряде сейсмологических учреждений страны.

Метод ЧИСС-сейсмометрии оптимально сочетает как спектральное, так и временное описание сейсмического сигнала. ЧИСС-сейсмограмма дает количественное представление о распределении сейсмической энергии между несколькими (по числу фильтраций) частотными диапазонами, сохраняя при этом основные особенности временной структуры сигнала. Оптимальность выбора положения и ширины полос пропускания фильтров, долговременная стабильность параметров основных звеньев станции, удачный выбор системы калибровки, простота и надежность работы в полевых условиях – все это обусловило долголетие аппаратуры и методики ЧИСС, которые более тридцати лет широко применяются в КСЭ.

Аппаратура и методика частотно-избирательной сейсмометрии разработаны и внедрены в сейсмологическую практику К.К. Запольским [52–54]. Им выполнена большая работа не только по созданию и совершенствованию этой аппаратуры и методов интерпретации ЧИСС-записей, но и по физическому осмыслению полученных данных применительно к задаче изучения очагового процесса сильных землетрясений, формированию сейсмического сигнала, его зависимости от силы землетрясения и свойств окружающей среды и т.д. [53, 55–62].

Начав в 1948–1949 гг. с решения сейсморазведочных задач, К.К. Запольский перешел к изучению спектрального состава микросейсм [52], а затем и слабых землетрясений. Первые кратковременные полевые наблюдения в Гармском районе произведены им в 1953 г. [55], а первые стационарные наблюдения – в 1955–1956 гг., когда на станциях Гарм и Чусал поочередно в течение полугода работал комплект ЧИСС-аппаратуры [53]. В конце 1957 г. – начале 1958 г. на Гармском полигоне установлены три усовершенствованные станции ЧИСС, которые проработали более года. С тех пор в том или ином объеме ЧИСС-наблюдения ведутся на полигоне непрерывно. Силами КСЭ в последующий период выполнен большой объем наблюдений с помощью временных и передвижных ЧИСС в ряде пунктов Средней Азии, Казахстана и Сибири, а впоследствии и Кавказа.

Постепенно расширялся и частотный диапазон спектральных наблюдений. На первом этапе (1954–1967 гг.) основным объектом исследования были относительно слабые местные землетрясения, а частотный диапазон регистрации составлял от 2 до 30 Гц. Естественно, такой диапазон не был оптимальным для регистрации как удаленных, так и местных сильных землетрясений. В 1964–1966 гг. К.К. Запольским разработан длиннопериодный вариант станции ЧИСС, перекрывающий интервал периодов от 0,5 до 100 с. [54, 63]. Такая аппаратура была установлена на станции Гарм в 1967 г.

Описание аппаратуры ЧИСС, принципа ее действия и устройства основных блоков будет достаточно кратким, без углубления в технические детали. Оно рассчитано прежде всего на сейсмолога-интерпретатора, в той или иной степени заинтересованного в обработке ЧИСС-сейсмограмм из огромного фонда, накопленного в КСЭ более чем за 30 лет наблюдений. В какой-то мере представляемая здесь информация может рассматриваться как путеводитель по этому архиву сейсмограмм ЧИСС. В соответствии с такой задачей подробно описаны координаты и сроки наблюдений станций ЧИСС, применявшиеся системы фильтрации, динамический и частотный диапазоны ЧИСС, системы калибровки и параметры калибровочных сигналов, характеристики системы регистрации, формы документации сейсмограммного материала.

2.6.1. Принцип действия и основные узлы ЧИСС.

ЧИСС осуществляет спектрально-временной анализ колебаний почвы непрерывно в процессе регистрации. Сигнал от датчика, пройдя через усилитель, поступает на последовательно соединенные входы нескольких (обычно от 6 до 12) полосовых фильтров. Средние частоты фильтров обычно различаются в два раза, т.е. на октаву, а ширина полосы пропускания логарифмически постоянна (от одной до 1/3 октавы). Частотный диапазон станции достаточно велик — от 0,25 до 30 (иногда выше) Гц у короткопериодного варианта — ЧИСС КП и от 0,01 до 2 Гц у длиннопериодного варианта — ЧИСС ДП.

С выхода каждого фильтра ведется фоторегистрация колебательного процесса, интенсивность которого пропорциональна доле сейсмической энергии, приходящейся на интервал частот, равный полосе пропускания данного фильтра, и усредненной за некоторый промежуток времени установления собственных процессов фильтра.

Кинематическим элементом движения почвы, анализируемым ЧИСС является скорость движения почвы, так как на вход фильтров поступает электрический сигнал, пропорциональный ЭДС, развиваемой в катушке регистрации сейсмоприемника.

Каждый канал имеет независимую плавную регулировку усиления. Контроль уровня усиления всего сейсмического тракта от сейсмоприемника до гальванометра осуществляется ежедневно. Это позволяет оперативно и с достаточной точностью определять параметры каждого сейсмического сигнала в единицах скорости смещения почвы.

Таким образом, основными узлами ЧИСС являются: сейсмоприемник, калибровочное устройство, усилитель, блок фильтров, регистрирующее устройство, состоящее из блока гальванометров и регистрира. Блок-схема ЧИСС КП приведена на рис. 7. Составными частями станции являются также перекальное устройство (повышающее яркость светового пятна во время прохождения сигнала) и пульт управления, необходимый для контроля, регулировки и подачи марок времени на осветители гальванометров.

Для расширения динамического диапазона ЧИСС на опорных станциях установлены дополнительные комплекты ЧИСС КП пониженной чувствительности. Они подключены к основному сейсмографу, но имеют отдельный усилитель, блок фильтров и ведут регистрацию на

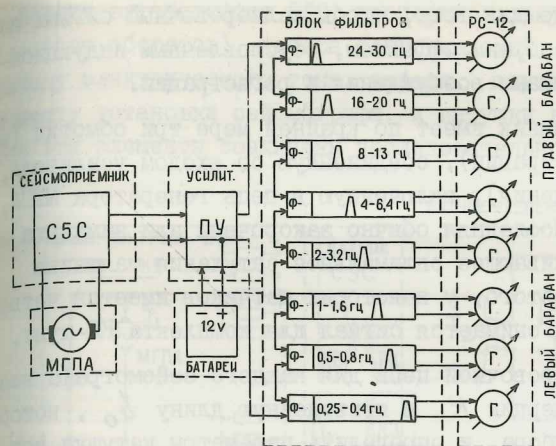


Рис. 7. Блок-схема станции ЧИСС КП

отдельный барабан (с меньшей, чем на основном комплекте, временной разверткой). По существу, это самостоятельная станция. В дальнейшем изложении она обозначается как ЧИСС КП-шунт.

Длиннопериодный вариант ЧИСС, по существу, устроен также, как и короткопериодный, отличаясь лишь техническим оформлением отдельных блоков.

2.6.1.1. Сейсмоприемник.

В качестве сейсмоприемников в настоящее время применяется датчик типа С5С (период 4–5 с) для комплекта ЧИСС КП и датчик типа СВКД-0 (период 20 с) для комплекта ЧИСС ДП. В длиннопериодном варианте ЧИСС, а также в большинстве короткопериодных станций анализируется вертикальная компонента движения почвы. Однако в некоторых случаях для более надежного выделения поперечной волны на записях местных землетрясений применялся горизонтальный датчик.

За длительный период наблюдений в короткопериодном варианте применялись три типа датчиков. На первом этапе использовался сейсмограф ВЭИК. В середине шестидесятых годов он был заменен на СКМ-3М, а с начала семидесятых годов и до настоящего времени датчиком является прибор С5С. Его преимуществом, помимо большого динамического диапазона, является наличие двух магнитов и соответственно двух катушек, расположенных на разных плечах маятника.

Это условие существенно для того, чтобы калибровочный сигнал не был искажен трансформаторным эффектом, обусловленным индукционной связью между катушками возбуждения и регистрации.

Каждый сейсмоприемник имеет по крайней мере три обмотки (катушки): рабочую (регистрации), соединенную со входом усилителя, калибровочную (возбуждения), включенную в цепь генератора МГПА, и катушку затухания. Последняя обычно закорочена или замкнута на сопротивление, обеспечивающее оптимальное затухание маятника ($D = 0,4-0,6$). Кроме этого, у некоторых датчиков имеется четвертая обмотка, с которой снимается сигнал для комплекта КП-шунт.

Для расчета калибровочной цепи для каждого сейсмографа необходимо знать момент инерции K и приведенную длину l_0 , которые указаны в паспорте прибора, и определить параметры катушки возбуждения, сопротивление R , электродинамическую постоянную G и токовую постоянную P (при известном периоде колебаний датчика T_0). Параметры других катушек незначительны, так как они автоматически учитываются при прохождении и записи калибровочного сигнала.

На начальном этапе работы с датчиком С5С были выявлены искажения, возникающие в высокочастотном диапазоне, обусловленные как паразитными (вторичными) резонансами в самом приборе, так и условиями установки прибора (контактом сейсмограф - почва). Для ослабления этих искажений было усилено крепление катушек к ферме маятника, усилено крепление крышки к основанию прибора и, главное, применено жесткое соединение фермы сейсмоприемника с основанием.

На всех постоянно действующих ЧИСС сейсмографы установлены в штольнях или камерах на коренных породах.

2.6.1.2. Калибровочная цепь.

Калибровочный узел, наряду с блоком фильтров, является самым ответственным узлом ЧИСС, обеспечивающим правильность определений абсолютного уровня сейсмических сигналов, возможность проведения магнитудных и энергетических определений, сопоставления данных различных станций между собой.

Калибровочная цепь состоит из генератора МГПА, который при

вращении вырабатывает ЭДС, пропорциональную скорости вращения (частоте оборотов), набора сопротивлений, точно регулирующих величину электрического тока, кабеля, идущего от генератора МГПА к месту установки сейсмографа, и катушки возбуждения датчика. Все эти элементы соединены последовательно (рис.8). Предусмотрено

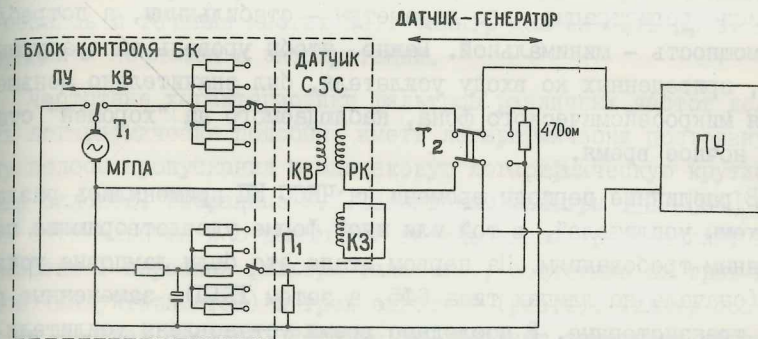


Рис.8. Калибровочная цепь станции ЧИСС КП.

два варианта подачи калибровочного сигнала: в катушку возбуждения (КВ) датчика при переключателе T_1 в положении КВ и через интегрирующую ячейку на вход усилителя (ПУ) при переключателе T_1 в положении ПУ и при переключателе T_2 в положении генератор.

При подаче калибровочного сигнала генератор МГПА раскручивается и, постепенно замедляясь, проходит весь частотный диапазон станции. Поступая в катушку возбуждения, электрический сигнал вынуждает маятник колебаться с постоянной скоростью. При этом в катушке регистрации возникает ЭДС постоянной амплитуды и плавно уменьшающейся частоты. Этот сигнал записывается на ленту, воспроизводя частотную характеристику каждого канала. Калибровочный сигнал подается на каждую ленту комплекта ЧИСС КП и дважды в неделю - на ленты ЧИСС ДП.

Для расчета калибровочной цепи необходимо знать сопротивление ее элементов - линии, генератора МГПА и катушки возбуждения, а также параметры сейсмографа K и l_0 и величину G катушки возбуждения. Кроме того, необходимо определить ϵ_0 - ЭДС, которую генератор МГПА вырабатывает на частоте в 1 Гц:

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot f$$

2.6.1.3. Усилитель.

Усилитель выполняет функцию усиления электрических сигналов, поступающих от сейсмоприемника, и имеет частотную характеристику, полностью перекрывающую диапазон частот, анализируемых данной ЧИСС. Усилитель должен быть линеен во всем динамическом диапазоне регистрации, его параметры — стабильными, а потребляемая мощность — минимальной. Важно, чтобы уровень аппаратных шумов, приведенных ко входу усилителя, был значительно меньше уровня микросейсмического фона, наблюдаемого на "хорошей" станции в ночное время.

В различные периоды времени на ЧИСС КП применялись различные схемы усилителей, в той или иной форме удовлетворяющие перечисленным требованиям. На первом этапе это были ламповые усилители (сначала на лампах типа 6Ф5, а затем 1Б1П), замененные позже на транзисторные. В последнее время установлены усилители на микросхемах, в наилучшей форме удовлетворяющие требуемым условиям. Этот усилитель устанавливается непосредственно в самом сейсмоприемнике.

Наиболее опасным для интерпретатора недостатком усилителя является уменьшение по каким-либо причинам динамического диапазона и появление нелинейных искажений при значительных амплитудах движения почвы. Такие кратковременные периоды появления искажений хорошо видны по резким выбросам на трассах высокочастотных каналов и коротким интервалам полного прекращения колебаний на более низкочастотных каналах.

В ЧИСС ДП применены фотоусилители типа Ф П17 [54]. Они обладают очень низким уровнем аппаратных шумов, регулируемым усилением и стабильными характеристиками. Однако со стороны высоких частот их полоса пропускания ограничена значением 4–6 Гц, что делает невозможным их использование в комплекте ЧИСС КП.

2.6.1.4. Блок фильтров.

Блок фильтров осуществляет основную функцию станции — частотно-избирательное распределение электрических колебаний по отдельным каналам, характеристики пропускания которых подразделяют исследуемый частотный диапазон на отдельные полосы. Оптимальным

считается такой фильтр, который имеет максимальную и постоянную прозрачность внутри заданной полосы пропускания, вне полосы его прозрачность (коэффициент пропускания) должна круто и постоянно падать. Фильтры должны быть линейными системами, по крайней мере при 50–100-кратном изменении амплитуд входных сигналов. Частотная характеристика фильтра должна иметь долговременную стабильность, не меняясь в течение многих лет. Фильтр должен быть прост по конструкции и несложен в эксплуатации.

Частотные характеристики фильтров различных частот должны быть логарифмически подобны, иметь логарифмически постоянную ширину полосы пропускания и одинаковую логарифмическую крутизну обоих склонов. Выбранные К.К. Запольским фильтры LC [54] оказались оптимальными и отвечающими поставленным требованиям. В ЧИСС применены T-образные фильтры типа K', состоящие из трех дросселей (индуктивностей) и трех емкостей (рис. 9). Фильтр состоит как бы из трех звеньев, которые не обладают заметными обратными связями, так что частотная характеристика каждого канала определяется частотными характеристиками его звеньев.

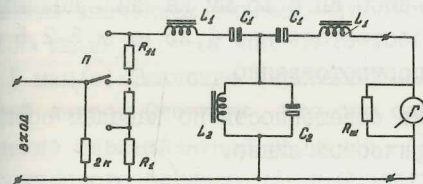


Рис. 9. Электрическая схема фильтра станций ЧИСС.

У короткопериодных фильтров крутизна склонов обычно составляет 30–35 дБ (т.е. спадает по пятой–шестой степени), а у длиннопериодных фильтров — 20–25 дБ, т.е. спадает по третьей–четвертой степени частоты.

В качестве граничных частот полосы пропускания фильтра f_1 и f_2 принимаются такие значения, при которых ослабление сигнала составляет 0,7 от максимального уровня. Наиболее важным недостатком применяемых фильтров является их нелинейность при больших сигналах, особенно заметная на длиннопериодных фильтрах, в которых используются очень большие индуктивности. Для КП фильтров в рабочем диапазоне амплитуд нелинейность практически неза-

метна. У ДП фильтров при сигналах, больших одного мкм/с, нелинейность иногда достигает 15-20% и должна учитываться путем введения поправочных множителей.

На входе каждого фильтра установлен потенциометр, позволяющий регулировать величину входного сигнала каждого канала.

2.6.1.5. Блок регистрации.

В ЧИСС в основном применяется метод фоторегистрации. Сигнал с выхода фильтра подается на гальванометр, частота которого выше частоты высокочастотного среза фильтра. Обычно используются стандартные гальванометры типа ГВ-IV с собственной частотой 15 и 25-30 Гц (в ЧИСС КП) и типа ГВ-III с частотой 1,25 и 5 Гц (ЧИСС ДП).

Запись ведется на регистроре РС-12, который отличается от стандартного РС-2 тем, что имеет удлиненный барабан, на котором одновременно устанавливаются две ленты фотобумаги шириной 28 см. Соответственно в регистрирующий комплект входят два осветителя и два блока гальванометров. На каждой ленте регистрируются четыре или пять дорожек. Временная развертка с начала семидесятых годов составляет 60 мм/мин на ЧИСС КП и 15 мм на ЧИСС ДП. Шаг поперечной подачи составляет соответственно 1,25 мм и 2-2,5 мм. Смена лент 2 и 1 раз в сутки соответственно.

Индивидуальная регулировка освещенности по каналам осуществляется диафрагмами на цилиндрической линзе.

2.6.2. Градуировка и система контроля ЧИСС.

Регулярный контроль ЧИСС производится с помощью генератора МГПА, сигнал которого подается в катушку возбуждения сейсмографа. Эта катушка находится в отдельном магните и поэтому не имеет индуктивной связи с катушкой регистрации. Методика [64, 65] обеспечивает надежный и оперативный контроль за уровнем и формой частотных характеристик всего сейсмического тракта от сейсмографа до гальванометра для каждого канала. Она позволяет легко переходить от амплитуды записи сейсмического сигнала к амплитуде скорости колебаний почвы.

При подаче калибровочного сигнала генератор МГПА предварительно раскручивается до таких оборотов, чтобы частота развивае-

мой им ЭДС была несколько выше наибольшей из частот полосы пропускания станции. Затем калибровочная цепь замыкается и электрический сигнал поступает в катушку возбуждения. В процессе вращения генератор МГПА постепенно замедляется, и частота генерируемых колебаний уменьшается. Под воздействием этого тока маятник колеблется с амплитудой, которая возрастает прямо пропорционально периоду колебаний тока, т.е. маятник колеблется с постоянной скоростью. При этом в катушке регистрации наводится ЭДС, амплитуда которой постоянна, а частота постепенно уменьшается. Амплитуда этого сигнала записывается всеми фильтрами, сначала самым высокочастотным, потом максимальные амплитуды наблюдаются на более низкочастотных каналах.

Такая система калибровки эквивалентна установке сейсмоприемника на вибрационную платформу, которая колеблется с постоянной амплитудой скорости и постепенно уменьшающейся частотой. Назовем это значение скорости колебаний платформы (или почвы) эквивалентной скоростью C . Расчет калибровочной цепи заключается в вычислении величины сопротивления R , которое нужно установить, чтобы ток в цепи возбуждения вызывал колебания маятника с заданным значением эквивалентной скорости. В большинстве случаев в ЧИСС калибровочный сигнал задает эквивалентную скорость, равную 1 мкм/с. Значение эквивалентной скорости надписывается на каждой ленте. Очевидно, что оно одинаково для всех каналов. Зная значение эквивалентной скорости C , можно перейти от амплитуды сейсмического сигнала a к амплитуде скорости колебаний почвы A :

$$A = \frac{a}{M} \cdot C$$

Здесь M - амплитуда сигнала МГПА на данном канале, величина a и M измеряются в мм, A и C в мкм/с.

Сразу отметим, что в частотно-избирательной сейсмометрии применяются "магнитудные" единицы для измерения скорости колебаний почвы. Так, колебание, имеющее амплитуду смещения 1 мкм и период 1 с, характеризуется величиной скорости в 1 мкм/с (хотя в стандартных единицах \dot{X} при таком колебании максимум скорости будет равен 2π мкм/с).

В наблюдениях 1953-1964 гг. применялась более упрощенная система контроля и градуировки каналов. В этом методе на входе уси-

лителя вместо сейсмоприемника подключался генератор МГПА с интегрирующей ячейкой. Генератор раскручивался до необходимых оборотов и затем, замедляясь, проходил по частоте весь диапазон станций. Амплитуда электрического сигнала E при этом сохранялась постоянной. Обычно величина такого сигнала составляла 80-120 мкВ. Зная это значение, можно было пересчитать миллиметры записи сейсмического сигнала на сейсмограмме в микровольты ЭДС, наведенной в катушке регистрации.

Для перехода к скорости движения почвы C можно воспользоваться известной формулой:

$$\dot{X} = \frac{E \cdot l_0}{G_{KP}}, \text{ тогда } C = \frac{E \cdot l_0}{2\pi G_{KP}}$$

Здесь \dot{X} и C - в мкм/с, E - в мкВ, l_0 - в м, G_{KP} в $\frac{B \cdot c}{рад}$ и относится к рабочей катушке.

Недостатком такого метода, помимо необходимости знать параметры датчика и выполнять дальнейшие пересчеты, является некорректируемость сейсмографа, что особенно существенно при работе в полевых условиях.

2.6.3. Длиннопериодная частотно-избирательная сейсмическая станция (ЧИСС ДП).

Длиннопериодная ЧИСС [54] предназначена прежде всего для регистрации сигналов телсейсмической зоны. Ее записи используются также и для анализа спектрального состава сильных близких землетрясений (в дополнение к записям ЧИСС КП). Станция насчитывает 5-7 каналов в интервале периодов от 1 до 40 (реже до 110) секунд. Хотя в принципе ЧИСС ДП устроена также, как ЧИСС КП, она имеет определенные отличия. Кратко перечислим их, опираясь на блок-схему (рис. 10).

В качестве сейсмоприемника используется вертикальный сейсмограф СВКД-0. Его период 18-20 с. Сейсмограф имеет три катушки регистрации (КР), затухания (КЗ) и возбуждения (КВ).

Для калибровки ЧИСС ДП необходим низкочастотный генератор колебаний с периодами в несколько десятков секунд. Обычный генератор (МГПА), описанный выше, для этих целей не годится. Его маховик имеет маленькую массу и очень быстро затухает на периодах

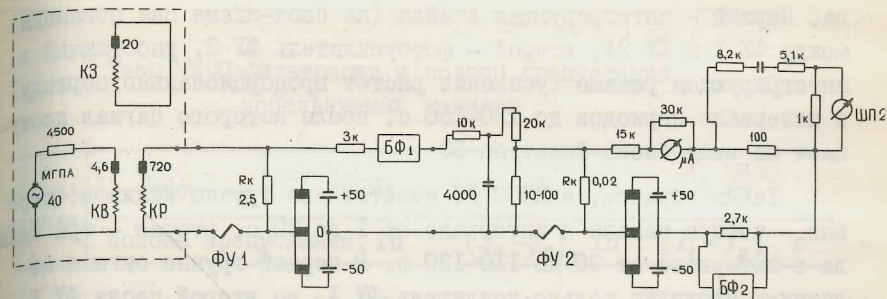


Рис. 10. Блок-схема станции ЧИСС ДП.

больше одной секунды. Поэтому в ЧИСС ДП раскручивается не генератор МГПА, а массивный маховик, соединенный через редуктор, уменьшающий число оборотов в десятки раз, с генератором МГПА. Такое калибровочное устройство, состоящее из маховика с ручкой, редуктора с набором передаточных шестерен, магнитного устройства для регулирования степени затухания скорости вращения маховика и генератора МГПА называется ДИСКГ. При подаче калибровочного сигнала наблюдатель раскручивает маховик до требуемого числа оборотов и затем замыкает калибровочную цепь. Такой сигнал длится достаточно долго - до 30-40 минут. В ЧИСС ДП обычно подаются поочередно два типа сигналов. Первый ("короткий") перекрывает диапазон от 0,8-1,2 с до 30-40 с, второй - от 4-6 с до 120-160 с. Каждый тип сигнала подается раз в неделю, для изменения скорости вращения используются сменные шестерни.

В качестве усилителя используется фотокомпенсационный усилитель типа Ф-117. Он обозначен на схеме (рис. 10) как ФУ I. Этот усилитель имеет столбчатую характеристику на низких частотах вплоть до постоянного тока. Со стороны высоких частот его чувствительность падает начиная с 4-5 Гц. Усилитель характеризуется высокой стабильностью и очень малым уровнем аппаратных шумов.

Сигнал после фотоусилителя поступает на входы фильтров (БФ) с полосами пропускания в интервале периодов до 20 с (т.е. до периода сейсмографа). Известно, что на периодах больших, чем собственный период, частотная характеристика падает по второй степени. Для компенсации этого спада и продления диапазона регистрации и анализа до 100-120 с применяется два интегрирующих уз-

ла. Первый - интегрирующая ячейка (на блок-схеме она показана между ФУ 1 и ФУ 2), второй - фотоусилитель ФУ 2, работающий в интегрирующем режиме (усиление растет пропорционально периоду) в интервале периодов до 120-150 с, после которого сигнал поступает на вход блока фильтров БФ.

Таким образом, в ЧИСС ДП имеется две группы каналов: первая - четыре канала в интервале от 1 до 20 с, вторая - три канала в интервале от 20 до 110-120 с. В первой группе сигнал от датчика проходит только усилитель ФУ 1, во второй после ФУ 1 - через интегрирующую ячейку и второй усилитель ФУ 2.

Блок регистрации такой же, как у ЧИСС КП, только временная развертка обычно составляет 15 мм/мин для фильтров первой группы (БФ) и 7,5 мм/мин для фильтров второй группы (БФ). В качестве гальванометров применяются ГВ-Ш с периодами 0,8 с.

В системе наблюдений КСЭ применяется два варианта ЧИСС ДП - в первом представлен полный набор фильтрации (обе группы каналов), во втором отсутствует ФУ 2 с интегрирующей ячейкой и регистрацию ведет только первая группа каналов.

2.6.4. Система фильтрации.

В основу систем фильтрации станций ЧИСС, применявшихся в КСЭ (табл.3 и рис.11), положен компромисс между детальностью по спектру и разрешающей способностью по времени, практический опыт по изучению спектров местных и удаленных землетрясений, технические ограничения, накладываемые необходимостью круглосуточной и круглогодичной работы станции, экономичностью и простотой изготовления. Опыт работы со спектрами местных землетрясений показал, что у подавляющего числа инструментально наблюдаемых землетрясений сейсмическая энергия лежит в интервале от 3-5 с до 30-50 Гц, т.е. перекрывает более двух порядков по частоте. Технически трудно было организовать регистрацию (учитывая возможность 50-х гг.) более 6-8 каналов. Учитывая многофакторность геофизической ситуации при изучении спектров, пришли к выводу, что детальность по спектру в одну октаву оптимальна. При выборе ширины полосы пропускания $\Delta f = f_2 - f_1$ необходимо руководствоваться в связи с временем анализа Δt :

$$\Delta f \cdot \Delta t \approx 1$$

Таблица 3.

Типы ЧИСС-фильтрации и полосы пропускания используемых каналов

Номер канала	1. ЧИСС - 1957	2. ЧИСС ПУ-ПФ	3. ЧИСС КП	4. ЧИСС ДП
	полоса пропускания, Гц		$(f_1 - f_2)$, Гц	$(T_1 - T_2)$, с
1	0,8 - 1,5	0,27 - 0,4	0,25 - 0,4	0,16 - 0,25
2	1,6 - 3,0	0,54 - 0,84	0,5 - 0,8	0,31 - 0,5
3	3,2 - 6,2	1,1 - 1,7	1,0 - 1,6	0,62 - 1,0
4	7,7 - 15	2,3 - 3,6	2,0 - 3,2	1,25 - 2,0
5	17 - 33	4,6 - 7,1	4,0 - 6,4	2,5 - 4,0
6	33 - 64	9,2 - 14,0	8 - 13	5 - 10
7	-	18 - 29	16 - 20	10 - 20
8	-	-	24 - 30	20 - 40
9	-	-	36 - 45	32 - 64
10	-	-	56 - 70	64 - 128

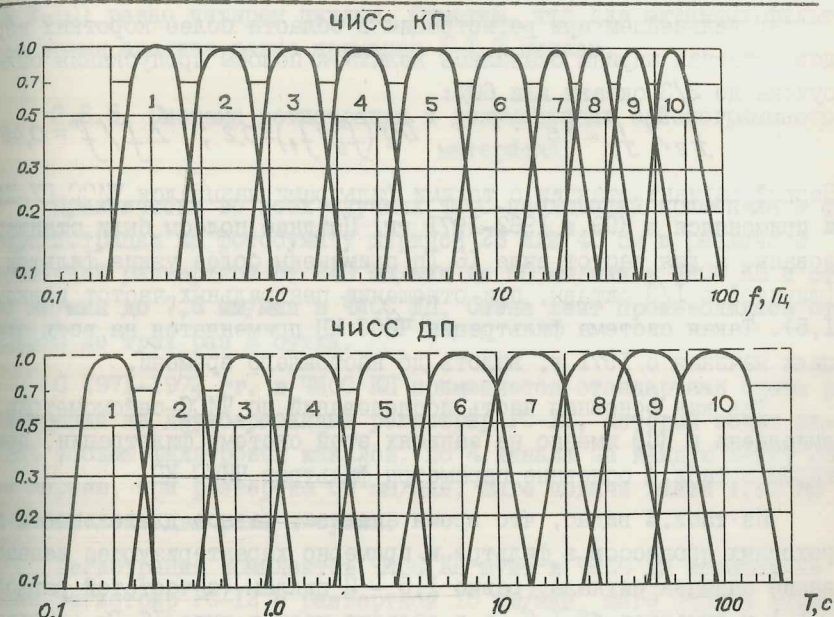


Рис.11. Стандартные частотные характеристики фильтров ЧИСС КП и ЧИСС ДП.

Очевидным требованием к частотным характеристикам фильтров было их логарифмическое подобие — постоянство их относительной ширины $f_2/f_1 = const$ или $\Delta f/\bar{f} = const$, а также постоянство логарифмической крутизны.

На начальном этапе развития ЧИСС-сейсмометрии К.К. Запольский принял интервал между центральными частотами соседних фильтров равным одной октаве:

$$\bar{f}(i)/\bar{f}(i+1) = 2$$

Он также остановился на октавной ширине полосы фильтра:

$$f_2/f_1 = 2; \quad \lg(f_2/f_1) = 0,3; \quad \Delta f/\bar{f} = 0,71$$

Такая организация фильтрации была у ЧИСС-1954 при наблюдениях в 1955-1956 гг. [53]. Она была сохранена и у ЧИСС-1957, использованной при организации системы стационарных наблюдений с ЧИСС в Гармском районе в 1957-1959 гг. и сохранялась в КСЭ вплоть до 1962-1963 гг. Октавная ширина полос до сих пор сохраняется в ЧДП для периодов более 5 с.

В дальнейшем при регистрации в области более коротких периодов октавная ширина оказалась велика и полосы пропускания были сужены до 2/3 октавы или 60%:

$$f_2/f_1 = 1,6; \quad \lg(f_2/f_1) = 0,2; \quad \Delta f/\bar{f} = 0,48$$

Первый вариант станции с такими фильтрами назывался ЧИСС ПУ-ПФ и применялся в КСЭ в 1962-1971 гг. Позднее полосы были стандартизованы, а для частот выше 16 Гц применены более узкие фильтры (шириной в 1/3 октавы, при отношении центральных частот равном 1,5). Такая система фильтрации ЧИСС КП применяется на всех станциях начиная с 1971 г. вплоть до настоящего времени.

Так как основная часть исследований по ЧИСС-сейсмометрии выполнена в КСЭ именно на записях этой системы фильтрации, приведем в табл. 4 основные параметры фильтров ЧИСС КП.

Из табл. 4 видно, что время анализа, равное длительности переходных процессов в фильтре и примерно характеризующее запаздывание анализа сигнала, равно 1,5 - 2 циклам (с частотой равной \bar{f}) у фильтров № 1-6, а в области частот выше 16 Гц (фильтры

Таблица 4.

Основные параметры фильтров ЧИСС КП

Номер канала	Полоса пропускания $f_1 - f_2, \text{ Гц}$	Центральная частота $\bar{f} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}, \text{ Гц}$	Ширина полос $\Delta f = f_2 - f_1, \text{ Гц}$	Время анализа $\Delta t = 1/\Delta f, \text{ с}$
1	0,25 - 0,4	0,310	0,15	6,66
2	0,5 - 0,8	0,625	0,3	3,33
3	1,0 - 1,6	1,25	0,6	1,66
4	2,0 - 3,2	2,50	1,2	0,83
5	4,0 - 6,4	5,0	2,4	0,42
6	8,0 - 13,0	10,0	5,0	0,20
7	16,0 - 20,0	18,0	4,0	0,25
8	24,0 - 30,0	27,0	6,0	0,17
9	36,0 - 45,0	40,0	9,0	0,11
10	56,0 - 70,0	63,0	14,0	0,07

№ 7-10) равно четырем циклам. Отметим, что для октавных фильтров время анализа равно примерно 1-1,5 циклам.

2.6.5. Система регистрации и документации сейсмограммного материала.

Практически во всех случаях ЧИСС-наблюдений применялась фоторегистрация на фотобумагу шириной 28 или 40 см и различной временной разверткой от 240 мм/мин до 60 мм/мин в ЧИСС КП и от 30 мм/мин до 7,5 мм/мин в ЧИСС ДП. Смена лент производилась от одного до трех раз в сутки.

С 1971-1972 гг. в ЧИСС КП применяется стандартная схема регистрации на двухбарабанный регистр РС-12, который ведет запись восьми фильтровых каналов, по 4 канала на каждую ленту 28 см ширины, при развертке 60 мм/мин, шаге подачи винта 1,25 мм и смене лент два раза в сутки.

Регистрация комплектов ЧИСС КП шунт и ЧИСС ДП ведется на один регистр РС-12 с разверткой 15 мм/мин, шаге подачи винта 1,5 мм и смене лент один раз в сутки.

Каналы ЧИСС ДП 10-20, 16-32, 32-64 и 60-110 с регистрируют-

ся на двух уровнях усиления на отдельный барабан РС-12 с шагом подачи 5 мм, разверткой 7,5 мм/мин и сменой один раз в сутки.

Для расширения динамического диапазона применяются каналы пониженной чувствительности (каналы "шунт"), с увеличением в 15-25 раз меньшим, чем на основных каналах. Сначала для этих целей был применен дополнительный гальванометр, подсоединенный параллельно к основному через шунт. В ЧИСС ДП до сих пор применяются также каналы, особенно для фильтра 10-20 с, на котором наблюдаются максимальные фазы поверхностных волн. Однако при такой системе сохраняется нелинейность усилителя и фильтров, лишь уменьшаются амплитуды на записи сильного землетрясения. Впоследствии для избавления от нелинейных эффектов в усилителе и фильтрах были установлены отдельные комплекты усилитель - набор фильтров, снимающие сигнал с дополнительной катушки сейсмоприемника. Такая система полностью себя оправдала и работает в настоящее время на трех станциях (Гарм, Чусал, Талгар).

На всех сейсмограммах ставится стандартный штамп с указанием названия станции, времени пуска и остановки и величины калибровочного сигнала (значение эквивалентной скорости в мкм/с). На лицевой стороне сейсмограммы указывается компонента движения почвы и полоса пропускания каждого канала - в Гц для ЧИСС КП и в секундах для ЧИСС ДП. При поступлении сейсмограмм в группу ЧИСС ведется учет поступающих лент, отмечаются перерывы в регистрации производятся измерение и запись амплитуды сигнала МПА на всех каналах.

Методика обработки записей ЧИСС, вопросы их интерпретации и, в частности, связь ЧИСС-спектров с Фурье-спектрами рассмотрены в [54, 58, 62, 63, 66-69].

Полный список постоянных и временных станций ЧИСС, работающих в системе наблюдений КСЭ с начала 1958 г., а также стоянок передвижных станций, материалы которых хранятся в Гармском архиве КСЭ, приведен в табл. 5. Здесь указаны названия станций, тип фильтрации в соответствии с табл. 3 (для работающих станций тип указан на начало 1989 г.), координаты станций и срок наблюдений. Для тех станций, на которых ведут регистрацию одновременно несколько комплектов аппаратуры - ЧИСС КП, ЧИСС КП-шунт (ЧИСС КПШ) или ЧИСС ДП - перечисленные характеристики указаны отдельно для каждого комплекта.

Таблица 5.

Параметры, координаты и сроки работы станций ЧИСС

Название	Тип (табл.3)	Полоса Δf , Гц	Координаты		Срок работы	
			с.ш.	в.д.	с	до
Гарм КП	3	0,25-30	39 00'	70 18'	01.02.58	
Гарм КПШ	3	0,5-30	"-	"-	03.01.71	
Гарм ДП	4	0,01-0,8	"-	"-	12.09.67	
Чусал КП	3	0,5-45	39 07	70 46	28.02.58	
Чусал КПШ	3	0,5-30	"-	"-	10.01.76	
Чаль-Дора КП	3	0,25-30	38 47	70 19	14.07.72	
Тамиль-Дора	1	0,8-64	38 41	70 29	01.02.58	30.09.59
Зеренда ДП	4	0,025-6,4	52 53	69 09	01.08.80	12.12.87
Зеренда КП	3	0,05-45	"-	"-	29.07.86	
Талгар КП	3	0,25-30	43 14	77 13	01.09.61	
Талгар КПШ	3	0,5-30	"-	"-	01.07.66	
Талгар ДП	4	0,025-0,8	"-	"-	01.07.70	
Ванновская	3	0,25-30	37 57	58 06	07.04.88	
Пиркули	3	0,25-30	40 48	48 36	01.11.87	
Степанаван	3	0,25-30	41 00	44 23	26.07.85	
Бодон	4	0,01-4	53 45	110 00	10.11.74	30.06.75
Ворсовка	4	0,025-6,4	50 40	29 00	07.02.86	14.04.88
Ирису	1	0,8-32	40 58	73 22	02.10.60	10.04.61
Кальта	1	0,8-64	40 52	73 19	26.04.61	01.02.63
Карасу	3	0,5-30	41 40	72 54	31.05.76	31.12.77
Кизыл-Уран	3	0,5-45	41 43	71 58	01.01.75	21.03.76
Новосибирск	4	0,01-4	54 51	83 14	23.12.72	23.10.81
Суфи-Курган	4	0,025-6,4	40 03	73 33	12.07.78	28.02.83
Ванч	1	0,8-64	38 20	71 25	30.08.57	30.09.57
Газли	3	0,25-30	40 25	63 16	26.03.84	23.04.84
Джусалы	4	0,05-13	45 30	64 10	08.06.71	07.07.71
Джиргатаь	3	0,25-30	39 14	71 17	03.11.84	20.11.84
Мускинабад	1	0,8-64	38 36	69 35	20.01.58	15.02.58
Комароу	3	0,25-30	39 09	70 16	12.09.82	26.10.82
Сангикар	3	0,25-30	39 02	70 08	17.08.89	07.09.89
Туратол	3	0,5-30	39 15	70 46	02.08.73	02.11.73
Чахикуу	3	0,25-30	38 59	70 25	03.07.87	30.07.87

2.7. Радиотелеметрическая сеть сейсмических станций на Гармском полигоне

2.7.1. Расположение телеметрических станций.

Начиная с 1974 г., на Гармском полигоне функционирует сеть сейсмических станций, использующих радиотелеметрический способ передачи информации от полевых пунктов в центр сбора данных [70-71]. Эта сеть была организована в рамках совместных советско-американских исследований по прогнозу землетрясений. В процессе работ менялись конкретные задачи и соответственно менялись параметры и конфигурация сети. С накоплением опыта работы радиотелеметрический комплекс подвергался существенной модернизации, направленной на расширение его возможностей.

Первая телеметрическая сеть была развернута Геологической службой США (ГС США) в 1974 г. в эпицентральной зоне разрушительного Хайтского землетрясения 1949 г. Эта сеть состояла из восьми пунктов наблюдения, при среднем расстоянии между ними 5-10 км. Наблюдения проводились с июля по октябрь 1974 г. (табл.6).

Таблица 6.

Координаты станций радиотелеметрической сети ГС США, работавшей в окрестности Хайта с июля по октябрь 1974г.

Станции		К о о р д и н а т ы		
№	название	широта	долгота	высота, м над у/м
23	Петр	38° 59'	70° 31'	2850
24	Ясман	39 10	70 41	2250
25	Угол	39 09	70 51	2000
26	Дорога	39 10	70 50	1950
27	Завал	39 11	70 55	2300
28	Беги-Сия	39 13	70 51	1800
29	Туратол	39 15	70 46	1900
30	Ферма	39 11	70 47	1850

В 1975 г. телеметрические станции были передислоцированы в западную часть хребта Петра Первого, где наблюдается самый высокий уровень слабой сейсмичности на Гармском полигоне. На

сравнительно небольшой территории размером примерно 20 на 25 км было расположено десять станций, которые через ретрансляторы передавали всю информацию на Гармскую базу КСЭ, где она записывалась на просмотровые ленты и на магнитную пленку. С небольшими изменениями эта сеть проработала до лета 1983 г. (табл.7).

Таблица 7.

Сведения о станциях радиотелеметрической сети ГС США, работавших на Гармском полигоне в 1975-1989 гг.

Станции	название	К о о р д и н а т ы			Срок работы	
		широта	долгота	высота	с	до
31	Наракуль	38 53	70 16	3640	УП 1975	УП 1983
32	-	38 56	70 19	2900	УП 1975	УП 1983
33	Снекух	38 55	70 25	3360	IX 1975	УП 1983
34	-	38 56	70 29	3740	VI 1975	УП 1983
35	-	38 59	70 25	2350	IX 1975	УП 1983
37	-	38 50	70 34	3800	X 1975	УП 1983
39	Мазор	38 49	70 25	3300	IX 1975	УП 1978
39	Мазор	38 51	70 26	3000	УП 1978	УП 1983
40	-	38 52	70 27	1700	УП 1975	IX 1977
36	Наудаль	38 58	70 35	3600	УП 1976	
38	Гумбешак	38 47	70 29	3860	УП 1976	
37	Сафедорон	38 40	70 45	2780	XI 1984	
12г	Балх	39 18	71 15	1940	XI 1984	
14г	Снекух	38 54	70 23	3360	XI 1984	
16г	Кабутюн	38 56	70 03	2220	УП 1983	IX 1984
18г	Ала-Кусрок	39 03	71 05	3680	XI 1984	
19г	Мионаду	38 47	70 56	3600	IX 1985	

В 1983 г. сеть телеметрических станций была полностью изменена, а ее конфигурация подчинена задаче повышения эффективности всей сети Гармского полигона. Эта новая сеть начала опытную регистрацию осенью 1983 г. и до ноября 1984 г. работала с перебоями. Начиная с ноября 1984 г., сеть работает стабильно и ее данные используются прежде всего в задачах эпицентрии и определения фокальных механизмов землетрясений. Сеть состоит из восьми