

КАБАРДИНО-БАЛКАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. Х.М.БЕРБЕКОВА

УДК 550.3  
№ госрегистрации

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

д.т.н., проф. Карамурзов Б.С.

«    » \_\_\_\_\_ 2009 г.

**ОТЧЕТ**  
**О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**  
**по теме:**

Исследование геодинамических процессов в зоне возникновения  
ожидаемых землетрясений на Северном Кавказе с использованием уникальной  
установки «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система  
Кабардино-Балкарского государственного университета  
им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ)»  
(промежуточный)

Государственный контракт от «08» июня 2009 г. № 02.518.11.7155  
Шифр «2009-07-1.8-00-05-050»

по этапу №1:

Мониторинг тонкой структуры магнитного и сейсмического полей.

Проректор по научно-  
исследовательской работе  
и информатизации

\_\_\_\_\_ А.П.Савинцев

Руководитель темы

\_\_\_\_\_ Л.Е. Собисевич

Нальчик 2009

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

### Руководитель темы

Заведующий учебно-научной лабораторией Прикладной геофизики	15.09.09	Л.Е. Собисевич (Введение, главы 1- 5, заключение)
---	----------	--

КБГУ, д.т.н., профессор

### Исполнители темы:

Заведующий учебно-научной лабораторией Волновых процессов в	15.09.09	О.В. Руденко (Главы 1-5)
---	----------	-----------------------------

слоистых средах, д.ф.-м.н., профессор,  
академик РАН

Ведущий инженер учебно-научной лаборатории Волновых процессов в	15.09.09	А.Л. Собисевич (Главы 1-5)
---	----------	-------------------------------

слоистых средах, д.ф.-м.н.

Ведущий научный сотрудник УНИИД КБГУ, д.г.-м.н.	15.09.09	Ю.П. Масуренков (главы 1-3, заключение)
--	----------	---

Доцент кафедры Чрезвычайных ситуаций, к.п.н.	15.09.09	Сердюков И.И. (Главы 1-3)
--	----------	------------------------------

Заведующий кафедрой Чрезвычайных ситуаций, к.т.н., профессор	15.09.09	А.В. Шевченко (Главы 1-3)
--	----------	------------------------------

Ведущий инженер учебно-научной лаборатории Волновых процессов в	15.09.09	А.М. Гангапшев (Главы 1-3)
---	----------	-------------------------------

слоистых средах, к.ф.-м.н.

Ведущий инженер учебно-научной лаборатории Геодинамики, к.ф.-м.н.	15.09.09	Т.Л. Шугунов (Глава 4)
---	----------	---------------------------

Доцент кафедры Геофизики и экологии, к.ф.-м.н., доцент	15.09.09	М.М. Шогенова (Глава 4)
---	----------	----------------------------

Доцент кафедры Геофизики и экологии, к.ф.-м.н., доцент	15.09.09	С.Б. Балкарова (Глава 4)
---	----------	-----------------------------

Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	15.09.09	Р.Р. Каширгова (Реферат, главы 1-3,5)
Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	15.09.09	З.И. Дударов (Глава 4)
Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	15.09.09	С.М. Долов (Глава 4)
Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	15.09.09	Э.Х. Алиев (Глава 4)
Студент 1 курса Физического факультета КБГУ	15.09.09	М.Г. Рекс (Глава 4)
Студент 1 курса Магистратуры Физического факультета КБГУ	15.09.09	Э.Р. Казиева (Глава 4)
Нормоконтролер	15.09.09	Е.А. Кольченко

## Реферат

Отчет 175 с., 72 рис., 9 табл., 69 источников.

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ, ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПОСТРОЙКИ, ФЛЮИДНО-МАГМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, МАГМАТИЧЕСКАЯ КАМЕРА, МАГМАТИЧЕСКИЙ ОЧАГ, ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ, КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Объектом исследования является Эльбрусская вулканическая область и прилегающие территории.

Целью работы является проведение исследований в области: прогнозирования состояния окружающей среды, оценки и освоения ресурсов, оценки техногенных и природных рисков.

Проведение исследований и обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением возможности использования методов научных исследований, разработанных или освоенных для уникальной установки, стенда (УСУ).

Развитие материально-технической базы УСУ путем дооснащения имеющихся специализированных комплексов (лабораторий), приобретаемым научным оборудованием для обеспечения и развития исследований в форме коллективного пользования.

Организация широкомасштабного мониторинга геологической среды в районе Эльбрусской вулканической области и на прилегающих территориях, используя уникальную установку «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ).

В процессе проведения исследований проводились следующие работы:

- получение новых данных о тонкой структуре геологической среды в ее отдельных локальных образованиях стационарными и мобильными

геофизическими системами, установленными в районе Эльбрусского вулканического центра и на прилегающих территориях;

- сбор данных по тепловым аномалиям в районе Эльбрусского вулканического центра и в первую очередь на вулканической постройке при помощи автономных измерительных устройств, снабженных автоматизированной системой сбора и хранения информации;

- дооснащение уникальной установки «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ)» современными геофизическими информационно-измерительными системами, отражающими структуру аномальных явлений в атмосфере изучаемого региона;

- проведение комплексного анализа получаемого в процессе мониторинга геофизической информации с целью поиска информативных среднесрочных предвестников (в первую очередь в электромагнитном УНЧ диапазоне) готовящихся разномасштабных катастрофических событий регионального и планетарного масштаба (землетрясений, лавин и селей, вулканических извержений).

В процессе развертывания работ выполнен анализ экспериментальных наблюдений вариаций магнитного поля Земли, зарегистрированных аппаратными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории. Показано, что в структуре регистрируемых электромагнитных сигналов удастся выделить характерные ультранизкочастотные волновые формы, предшествующие сильным телесейсмическим событиям.

В наблюдаемых на УСУ КГФИИС КБГУ вариациях содержатся сведения о динамике геофизической среды и процессах протекающих в зоне подготовки крупных сейсмических событий. В дальнейшем необходимо вести работы по получению новых экспериментальных результатов с последующей аппаратной классификацией наиболее характерных электромагнитных признаков в УНЧ диапазоне и оценки адекватности выполняемой на их основе интерпретации

полученных данных, с выходом на краткосрочный прогноз крупных сейсмических событий.

Результаты проведенных исследований будут использованы в задачах прогнозирования условий формирования и протекания геолого-геофизических процессов в районе Северного Кавказа и на этапе оценки природных рисков на заданном временном интервале, организациями пользователей УСУ, профильными научными институтами, высшими учебными заведениями, заинтересованными федеральными министерствами и ведомствами и силовыми структурами, а так же позволят обеспечивать получение новой научной информации в области прикладной геофизики и вулканологии.

В результате выполнения проекта планируется решить фундаментальную проблему сейсмологии и выделить в КНЧ диапазоне высокоинформативный предвестник крупных сейсмических катастроф. На выходе научно-исследовательских работ планируется получить технологический процесс.

## Содержание

Введение .....	9
Глава 1 Получение новой информации о структуре сейсмического процесса и изучение электромагнитных предвестников крупных сейсмических катастроф (землетрясений) .....	13
1.1 Современное состояние научных исследований, связанных с изучением аномальных ЭМИ .....	13
1.2 Регистрация аномальных электромагнитных предвестников землетрясений в России .....	20
1.3 Характерные аномалии – предвестники часового масштаба .....	26
1.4 Общая характеристика научного потенциала.....	34
1.4.1 Состав УСУ КГФИИС КБГУ .....	34
1.4.2 Лаборатория «Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп» .....	37
1.4.3 Лаборатория низкофоновых исследований.....	39
1.4.4 Лаборатория «Галлий-германиевый нейтринный телескоп (ГГНТ)» .....	40
1.4.5 Лазерный интерферометр-дерфармограф .....	41
1.4.6 Центр астрономических и медико-биологических проблем .....	42
1.4.7 Баксанская геофизическая обсерватория. Состав УСУ КГФИИС КБГУ .....	46
1.4.8 Наклонометрическая станция.....	48
1.4.8.1 Методика и результаты эталонирования наклонометрических антенных систем.....	54
1.4.9 Трехкомпонентная цифровая магнитовариационная станции (МВС) (рабочее средство измерения) .....	65
1.4.9.1 Технические данные.....	66
Глава 2 Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями (землетрясениями).....	83
Глава 3 Мониторинг тонкой структуры магнитного и сейсмического полей приборами КГФИИС КБГУ. Создание концепции по модернизации УСУ .....	105
3.1 Мониторинг тонкой структуры магнитного и сейсмического полей.....	105

3.2 Результаты натурных наблюдений магнитного поля в районе Эльбрусского вулканического центра.....	108
3.3 Сейсмичность Кавказа. Оценка сейсмичности Эльбрусской вулканической области.....	115
3.4 Концепция модернизации УСУ.....	127
Глава 4 Экспедиционные работы по установке геофизических приборов входящих в состав УСУ КГФИИС КБГУ .....	130
Глава 5 Совершенствование и развитие материально-технической базы. Приобретение современных приборов и научного оборудования. Широкополосные сейсмоприёмники GURALP.....	141
5.1 Программа развития УСУ «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система Кабардино–Балкарского государственного университета» (КГФИИС КБГУ) на 2009-2010 годы .....	141
5.1.1 Совершенствование и развитие материально-технической базы. Приобретение современных приборов и научного оборудования. Широкополосные сейсмоприёмники GURALP.....	146
5.1.2 Дооснащение специализированным оборудованием УСУ КГФИИС КБГУ	147
5.1.3 Геофизический комплекс GI-MTS-1 .....	148
5.1.4 Цифровой регистратор MTS-R для записи и хранения магнитных, теллурических и сейсмических данных .....	152
5.1.5 Геофизический комплекс «ОЧАГ-1».....	160
5.2 Магнитная локация источников аномальных УНЧ электромагнитных возмущений, возникающих в сейсмоактивных зонах перед сильным землетрясениями.....	162
Заключение.....	165
Список использованных источников.....	169



## Введение

Землетрясения относят к самым опасным природным катастрофам. По мере урбанизации территорий их негативные последствия многократно возрастают, с каждым годом землетрясения в целом по земному шару наносят все больший материальный ущерб, становятся причиной все большего количества жертв. Серьезная сейсмическая опасность характерна и для России: треть территории нашей страны находится в зоне возможных 7-балльных землетрясений, а Дальний Восток, юг Сибири, Кавказ относятся к чрезвычайно опасным регионам – это около 20% территории страны. Сейсмическая опасность существует и на, казалось бы, стабильной территории европейской части Российской Федерации: 6-7 балльные землетрясения возможны в Приуралье, Приазовье, Поволжье, на побережье Черного и Каспийского морей, Среднем Урале, Кольском полуострове и прилегающих к нему территориях.

В последние годы XX века на территории России в ее современных границах произошли такие сильные землетрясения как Шикотанское (4 октября 1994 г.) магнитудой  $M=8,2$  и Нефтегорское (27 мая 1995 г.) магнитудой  $M=7,6$  вызвавшие серьезные разрушения, жертвы и значительный материальный ущерб. Шикотанское землетрясение относят к сильнейшим землетрясениям региона в XX веке, его особенность состояла в том, что эпицентр был расположен необычно близко к берегу. Оно вызвало цунами, высота которого достигала 5 м, были повреждены более 100 зданий, в том числе с железобетонным каркасом. После землетрясения среди населения возникла паника, распространились слухи о скором расколе и опускании острова ниже уровня океана.

Выполненный комплекс исследований показал, что в результате землетрясения о. Шикотан опустился как единое целое на 0,5-0,6 м. Весьма печальными оказались последствия Нефтегорского землетрясения: более 2 тыс. погибших и исчезновение с карты страны поселка городского типа Нефтегорск – разрушенный землетрясением поселок решили не восстанавливать, на его месте сейчас находится лишь мемориальный комплекс.

В конце прошлого века сильнейшие землетрясения потрясли Кавказ и прилегающие территории. Начало нового, XXI, века ознаменовалось новыми сейсмическими потрясениями. 27 сентября 2003 г. в южной части Горного Алтая возникло Алтайское землетрясение ( $M=7,3$ ;  $I_0=9$ ). Хотя его эпицентр находился в малонаселенном районе, серьезно пострадали несколько поселков. Землетрясение сопровождалось большим количеством афтершоков, сильнейший из которых ( $M=7,0$ ) произошел 1 октября и вызвал дополнительные разрушения. С научной точки зрения Алтайское землетрясение ознаменовало крупный успех российских сейсмологов, поскольку произошло в зоне, высокий сейсмический потенциал которой был предсказан задолго до землетрясения – несмотря на отсутствие данных о каких-то землетрясениях в этом районе за историческое время. Это было сделано на основе сеймотектонических и палеосейсмогеологических исследований.

В августе 2006 г. и затем через год в 2007 г., тоже в августе, сильные землетрясения произошли в южной части Татарского пролива в нескольких километрах от берега о. Сахалин. В результате Невельского землетрясения 2 августа 2007 г. ( $M=6,2$ ;  $I_0=7-8$ ) береговая полоса длиной около 5 км поднялась на 1-1,5 м. Землетрясение вызвало цунами, высота которого превысила 3 метра. Землетрясение нанесло серьезный материальный ущерб: только в г. Невельск он составил 8,5 млрд. рублей.

20 апреля 2007 г. на Корякском нагорье произошло Олюторское землетрясение ( $M=7,8$ ;  $I=9-10$ ). Его интенсивность превысила ожидаемую по нормативным документам. Землетрясение привело к разжижению и просадке грунтов, на земной поверхности возникли многочисленные трещины, которые рвали фундаменты и несущие стены домов. В результате землетрясения было разрушено много жилых и производственных зданий, сильно пострадала взлетно-посадочная полоса аэропорта в пос. Корф.

Неожиданным было Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 г. ( $M=4,9$ ;  $I_0=6-7$ ) – оно возникло в считавшейся стабильной западной части Восточно-Европейской платформы. Макросейсмический эффект землетрясения

значительно усилился из-за широко распространенных в регионе слабых грунтов. Впечатляющий пример – вызванный землетрясением гигантский провал железнодорожной насыпи. Различные повреждения получили многие здания, убытки составили 160 млн. рублей. Из-за отсутствия на территории Калининградской области сейсмических станций параметры землетрясения, особенно глубина очага, были оценены с большой неопределенностью.

Перечисленные сейсмические события еще раз подчеркнули необходимость тщательного изучения сейсмичности территории России. Эта задача становится еще более актуальной в связи с предложениями бывшего Президента Российской Федерации В.В. Путина о развертывании масштабной программы развития атомной энергетики и строительства на территории страны большого количества АЭС. Еще одна задача сейсмологов на современном этапе связана с обеспечением строителей информацией, необходимой для строительства сейсмостойких жилых зданий и промышленных объектов.

Все это представляет серьезные вызовы безопасности отдельных регионов страны и требует от ученых разработки принципиально новых подходов к решению возникших задач. Некоторые из них изложены в настоящем отчете.

Применительно к Северному Кавказу и конкретно к территории Республики Кабардино-Балкарии в рамках настоящего проекта планируется решить широкий круг актуальных фундаментальных проблем современной геофизики, среди которых на первый план вышли проблемы вулканизма и сейсмичности, в частности изучение механизмов возникновения сильных землетрясений и разработка методов их прогнозирования. Для этого привлекаются методы геомеханики, геодинамики и других направлений, получивших свое развитие в науках о Земле. В последние годы значительное внимание уделяется изучению предвестников крупных сейсмических событий, отражающихся на этапе подготовки землетрясения аномальными изменениями тонкой структуры электромагнитного поля Земли в УНЧ и КНЧ диапазонах.

Поиск и изучение предвестников землетрясений при их органической связи с процессами подготовки сейсмического события обладают рядом характерных

особенностей. Здесь, прежде всего, важно получение конкретных сведений о времени, силе и месте сейсмического события. В этой связи поиски, обнаружение и изучение тонкой структуры предвестников оперативного масштаба времени в полевых структурах и надежное выделение аномальных сигналов на коротких временных интервалах — первые часы до землетрясения, следует считать первостепенной задачей. В соответствии с уже полученными и опубликованными в печати научными материалами по этой важной проблеме, к таким предвестникам можно отнести:

- аномальные особенности в структуре регистрируемых электротеллурических полей;
- характерные значения электрического сопротивления геологической среды в зоне будущего сейсмического события;
- вариации и импульсные всплески электромагнитного излучения (ЭМИ) в зоне подготовки сейсмического события, включая и ионосферу;
- аномальную акустическую эмиссию;
- изменчивость флюидной активности в регионе и некоторые другие.

Предвестники реальных сейсмических процессов начали активно изучаться в шестидесятые годы прошлого столетия и особенно активно с момента организации экспериментального и по-своему уникального геофизического полигона в Гарме. Результаты этих наблюдений обобщены в работах известного российского ученого А. Я. Сидорина [А.Я. Сидорин, 1990, 1992].

В процессе развертывания работ по настоящему проекту выполнен анализ экспериментальных наблюдений вариаций магнитного поля Земли, зарегистрированных аппаратурными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории. Показано, что в структуре регистрируемых электромагнитных сигналов удастся выделить характерные ультранизкочастотные волновые формы, предшествующие сильным телесейсмическим событиям. Это весьма важный научный результат, который требует дальнейшего более глубокого изучения и внимания со стороны заказывающих организаций.

# **Глава 1 Получение новой информации о структуре сейсмического процесса и изучение электромагнитных предвестников крупных сейсмических катастроф (землетрясений)**

## **1.1 Современное состояние научных исследований, связанных с изучением аномальных ЭМИ**

Широкомасштабные поиски предвестников геокатастроф, развернутые в семидесятых годах на территории бывшего СССР, привели российских ученых к открытию в начале семидесятых годов ряда аномальных электромагнитных явлений (ЭМИ), которые наблюдались перед землетрясениями и другими сейсмическими событиями. Характеризуя эту проблему, прежде всего, следует выделить работы, связанные с исследованиями импульсного электромагнитного излучения, возникающего за первые сутки, часы и десятки минут до сильных сейсмических событий. В последние 10 - 15 лет к этим аномальным явлениям стали проявлять практический интерес в связи с возможностью его использования в интересах оперативного прогнозирования.

Инициатива развертывания широкомасштабных научных исследований по этой крайне важной проблеме принадлежит ученым из города Томска [Воробьев и др., 1970 - 1975], которые не только обозначили проблему, но выполнили первые натурные наблюдения целого класса интересных геофизических явлений.

Сложен и неоднозначен был путь исследовательских поисков и экспериментальных подтверждений представлений о том, что огромная энергия тектонической деятельности земной коры, высвобождающаяся в периоды сейсмической активности имеет и электромагнитную составляющую, следы которой следовало искать на земной поверхности в виде как квазистатических возмущений электрического поля, так и импульсных сигналов в радиоволновом диапазоне. Измерения, выполненные учеными Института физики Земли и других институтов АН СССР на Камчатке и Средней Азии, к середине 80-х дали обнадеживающие результаты. В настоящее время перечень работ, публикуемых ежегодно, составляет десятки наименований, тематические сводки которых

можно найти, например, в работе [Электрические....., 1982 - 1983]. По этой причине в дальнейшем изложении ограничимся лишь на основных направлениях, в которых ведутся сегодня экспериментальные исследования с целью формирования модельных представлений, и более подробно проанализируем работы российских ученых, выполненных в последние годы с учетом тех немногочисленных работ зарубежных авторов, которые не вошли пока в обзорные статьи.

Основной вопрос, который возникает при интерпретации данных натурных наблюдений, - вопрос о местоположении источника генерации ЭМИ. Большинство авторов работ в этой области сходятся во мнении, что аномальное ЭМИ перед землетрясением связано с работой своего рода «механоэлектрических» преобразователей (МЭП) в области очага или подготовки землетрясения вследствие активизации тектонических процессов накануне сейсмического события. Такой подход может быть назван концепцией активных излучателей.

Среди геофизиков существует и другая точка зрения, согласно которой, аномалии импульсного ЭМИ являются следствием изменения условий распространения электромагнитных волн, порождаемых молниевыми разрядами из зон повышенной грозовой активности, удаление которых от пункта наблюдения может не только значительно превышать расстояние до эпицентра, но иметь произвольный угол прихода по отношению к направлению на эпицентр. По предложенной схеме в процессе подготовки землетрясения изменяется уровень ионизации над эпицентральной областью, что, в свою очередь, влияет на интенсивность распространяющихся через возмущенную зону электромагнитных волн. В рамках таких представлений в ряде случаев удастся получать объяснения, как случай аномального увеличения сигнала, так и для эффекта «замирания» сигнала. Но самое главное, что при таком допущении получают объяснение факты регистрации направлений прихода сигнала, не совпадающие с направлением на эпицентральную зону. Такой подход называют концепцией изменений условий распространения [М.Б. Гохберг и др., 1984].

Отметим, что до настоящего времени задача о физических процессах, определяющих тонкую структуру сейсмических и ионосферных связей, остается открытой. В концепции активных излучателей, обусловленных работой механоэлектрических преобразователей (МЭП), в литературе рассмотрены все возможные варианты расположения источников: в глубинах земной коры (очаговая зона), вблизи поверхности (как со стороны земли, так и в атмосфере), в верхней атмосфере и ионосфере. Предположение о генерации сигнала в очаговой зоне имеет свои основания, т.к. наиболее интенсивные процессы происходят именно там, в области, где концентрируются максимальные напряжения, имеют место наибольшие деформации, идут физико-химические превращения и, естественно, должны протекать с большей интенсивностью и электромагнитные явления.

Наличие высокопроводных элементов горной породы, мощность которой составляет километры и десятки километров, приводит к сильному затуханию высокочастотного электромагнитного сигнала. Для выхода сигнала к поверхности необходимо предполагать или существование полей чрезвычайно высоких напряженностей, приводящих к электрическим разрядам большой мощности в недрах Земли, или наличие волноводных каналов из глубины к поверхности, что само по себе непротиворечиво, но требует экзотических условий.

Увеличение коэффициента затухания с ростом частоты подводит нас к механизму, основанному на предположении о выходе через земную поверхность в атмосферу и ионосферу низкочастотных, электромагнитных возмущений в диапазоне частот от десятков Гц до квазистатических полей, способных вызвать разрядные явления в верхней атмосфере или создать условия для образования в ионосфере плазменных неустойчивостей, приводящих в свою очередь к появлению вторичных источников электромагнитного излучения в радиоволновом диапазоне частот.

Вместе с тем прямые эксперименты по одновременному измерению ЭМИ на поверхности Земли, в штольнях и шахте в диапазоне "высоких" частот  $1-10^3$  кГц и изучение динамики спектрального состава излучений в период подготовки

горных ударов и землетрясений [Хатиашвили, 1984] подтверждает вслед за работой [Воробьев и др., 1975], вывод о том, что существуют источники ЭМИ, определяемые работой МЭП в Земле, о чем свидетельствует, в частности, превышение в 2-4 раза уровня электромагнитного фона в шахте по сравнению с поверхностью. Наличие столь разных подходов к одному явлению лишний раз свидетельствует, с одной стороны, о недостатке на сегодня экспериментального материала, с другой - о сложности изучаемого аномального геофизического явления.

В работе известных российских ученых [М.Б. Гохберг и др., 1985] исследуется модель, в основу которой положено предположение о местоположении элементарных излучателей, создающих аномалии ЭМИ на уровне атмосферного фона и расположенных в приповерхностных слоях земной коры порядка толщины скин-слоя (модель поверхностных излучателей). Авторы описываемого далее подхода не имели целью дать обобщающее объяснение всем видам оперативных электромагнитных предвестников. Многогранность протекающих в зоне подготовки землетрясения электромагнитных явлений на данном этапе исследований, по-видимому, трудно и вряд ли возможно охватить в рамках единой модели. Так, например, наличие в ионосфере в период, предшествующий землетрясению, специфических возмущений является достоверно установленным фактом, поэтому закономерно наряду с рассмотрением активных излучателей исследовать вопрос об изменении условий распространения в волноводе Земля-ионосфера не только естественного электромагнитного излучения, но и различного рода искусственных сигналов.

Развиваемые модельные представления основаны на изучении вполне конкретного вида аномалии в ЭМИ, имеющего одно очень важное свойство - образ сигнала-предвестника, который неоднократно подтверждался не только для землетрясений различных энергий, но и для землетрясений, происходящих в сильно отличающихся по тектоническим условиям сейсмоактивных регионах.

Прежде чем перейти к изложению экспериментальных данных по этому типу предвестника, целесообразно привести краткую справку о работах,



инициированных исследованиями, начатыми в нашей стране и подхваченными в последние несколько лет за рубежом.

Первая работа зарубежных авторов по высокочастотному ЭМИ, возникающему в связи с сейсмической активностью, появилась только в 1982 г. [Warwick et. al., 1982]. Описанный в этой статье случай возникновения необычной аномалии при регистрации космического шума на частоте 18 МГц сетью радиометрических станций в Северной Америке, удаленных одна от другой на тысячи километров, был зарегистрирован за 5 суток до катастрофического землетрясения в Чили 22 мая 1960 г. Необходимо отметить, что эти результаты остаются пока по многим пунктам дискуссионными. Неординарностью описываемого явления, не имевшего пока аналога за все время наблюдений можно объяснить, по-видимому, и столь позднее опубликование экспериментального материала. Увеличение сигнала необычной интенсивности одновременно зарегистрировано на расстоянии более 10 тысяч километров от эпицентра пятью обсерваториями, удаленными друг относительно друга на тысячи километров. При этом аномальное возмущение, длившееся около 20 минут, было подобно в различных пунктах, а его амплитуда на некоторых станциях вдвое превышала уровень фона. Исчерпав в последовательном анализе возможные причины появления необычного излучения воздействием факторов солнечной и космической природы, авторы были вынуждены предположить его непосредственную связь с процессом подготовки катастрофического землетрясения в Чили.

В предложенном авторами цитируемой выше статьи объяснения генерации ЭМИ является следствием процессов деформирования значительных объемов земной коры в зоне чилийского разлома, в эпицентральной области готовящегося одного из самых сильных за весь обозримый исторический период, с момента начала регистрации этого класса геокатастроф.

Оценка мощности зарегистрированного излучения по свойствам принятого на станциях сигнала дает значение порядка 100 Вт. Взяв за основу оценки мощности электромагнитного излучения от единичных актов растрескивания

образцов гранита в лабораторном эксперименте, авторы переносят целиком процесс в натурные условия, полагая, что радиоизлучение в полосе частот  $\Delta f = 18$  МГц порождается механоэлектрическими преобразователями в зоне разлома в объеме  $10^6 \times 2 \cdot 10^4 \times 10 \text{ м}^3$ . В качестве преобразователя механической энергии в электромагнитную принят механизм дипольного излучения зарядовой мозаики на бортах раскрывающихся микротрещин.

Отметим ради справедливости, что такой подход был предложен значительно раньше российскими учеными [Воробьев, 1970, Мирошниченко и др., 1980; Перельман и др., 1981]

Для получения необходимой суммарной мощности авторы в оценке для плотности микротрещин в каждый момент времени получают,  $N = 4 \cdot 10^6 - 4 \cdot 10^7 \text{ м}^3$ . Это значение в указанном объеме деформирования создается  $N = 8 \cdot 10^{17} - 8 \cdot 10^{18}$  одновременно раскрывающимися микротрещинами. При скорости раскрытия  $v \approx 3 \cdot 10^3 \text{ м/сек}$ , длине  $6 \cdot 10^{-2} \text{ см}$  и продолжительности примерно  $2 \cdot 10^{-7}$  секунд для мощности одной микротрещины ими получено значение  $1,25 \cdot 10^{-16} \text{ Вт}$ .

Выполненные расчеты, несмотря на их количественный характер, являются все же чисто качественными. В частности, мощности излучения одной микротрещины у различных авторов отличаются на многие порядки [Электрические..., 1983], а как отмечено в работе ученых ИФЗ АН СССР [Гершензон и др., 1985], расхождение в оценке плотности трещин достигает  $10^7$  и далеко выходит за пределы разумного. Именно это обстоятельство указывает на известную долю неопределенности в выборе исходных данных, с одной стороны, и не учета коэффициентов масштабирования физических процессов при переходе от лабораторного эксперимента к натурным наблюдениям - с другой.

В 1980 г., в соответствии с Советско-Японской программой двустороннего научного сотрудничества в сейсмоактивных регионах Японии были организованы и проведены широкомасштабные совместные целевые эксперименты по обнаружению аномальных ЭМИ в связи с ростом сейсмической активности. Исследование ЭМИ на Японских островах представляло значительный интерес

для ученых всего мира, поскольку давало возможность изучать особенности возникновения эффектов в ЭМИ от землетрясений с эпицентрами, как на суше, так и в море. Уже на начальном этапе здесь были получены важные результаты, которые вызвали широкий интерес со стороны и японских ученых. Ими были продолжены самостоятельные эксперименты, которые позволили обнаружить, что из 10 землетрясений с магнитудой  $M=3$  и эпицентральной дистанцией не более 200 км, имевших место за 17 месяцев наблюдений, отмечено увеличение амплитуд и резонансных частот шумановских резонансов перед семью землетрясениями, эпицентры которых располагались на суше. При трех землетрясениях с эпицентрами под водой подобных изменений зафиксировано не было. Авторы считают, что причиной обнаруженных изменений могут быть протекающие в эпицентральной зоне процессы, которые вносят свой вклад в интенсивность и спектральные характеристики фона ELF, формируемого грозовой активностью атмосферы.

Развитие космонавтики в бывшем СССР позволило использовать современные спутники для постановки прогнозных исследований. Использование измерений на спутниках существенно расширяет масштабы исследований природы АЭМИ. Впервые на такую возможность обратили внимание ученые ИФЗ АН СССР [М.Б. Гохберг и др., 1982], которые по данным измерений в КНЧ диапазоне (10-1000 Гц) зарегистрировали характерные излучения в виде всплесков шумов при пролете спутника 060-6 над эпицентром за несколько часов до будущего землетрясения. В ОНЧ диапазоне [Мигулин и др., 1982] также отмечены всплески ЭМИ по данным со спутника Интеркосмос-19 за 0,5-2 часа до землетрясения. Синхронные наблюдения, выполненные на наземной станции и на спутниках GDS-1 и GEOS-2 в диапазоне частот 60-7500 Гц, представлены в [Parroi et. al., 1984] и ряде других работ.

Выявление зависимости характеристик аномального ЭМИ (или его отсутствия) от параметров землетрясений - путь к пониманию механизма излучения. До настоящего времени эти связи в значительной степени неопределенны. Естественно, что с ростом магнитуды эффекты в ЭМИ должны

проявляться если не с большей интенсивностью и продолжительностью, то, по крайней мере, возникать с большей вероятностью при меньших случаях пропуска цели. Такой вывод можно сделать на основании известных представлений об увеличении масштаба зоны подготовки и увеличения объема, вовлеченного в процесс деформирования, с увеличением энергии землетрясения.

Однако регистрация эффектов от крупных землетрясений осложняется необходимостью иметь широкую сеть станций при большой длительности периодов наблюдений.

Естественна попытка поставить исследования на слабой "фоновой" сейсмичности с магнитудами в первые единицы. Такие исследования были проведены ИФЗ АН СССР в различных сейсмоактивных районах. В целом эффекты от слабых толчков менее отчетливы, обладают большим разнообразием форм и временем возникновения, но, как свидетельствуют случаи, представленные в работе [М.Б. Гохберг и др., 1985], могут быть выделены с уверенностью. Существует мнение, что в значительной мере обнаружение аномалий в ЭМИ в этих случаях зависит от расстояния до эпицентра и его глубины. На целесообразность работы на слабых землетрясениях обращено внимание также в работе [Tomita, 1983], где отмечено увеличение интенсивности в импульсном ЭМИ на серии толчков с магнитудой порядка  $M=1-2,4$  при мелкофокусных землетрясениях.

## **1.2 Регистрация аномальных электромагнитных предвестников землетрясений в России**

Результаты мониторинга электромагнитного фона, проведенного в различных сейсмоактивных регионах мира, свидетельствуют об информативности данного прогностического параметра. Аномальные электромагнитные излучения (АЭМИ) наблюдались, в частности, перед катастрофическими землетрясениями в Карпатах - 1977 г. [Садовский и др., 1979], Иране - 1978 г. [М.Б. Гохберг и др., 1979], Спитаке - 1988 г. [В.А. Моргунов, Матвеев, 1990], перед глубокофокусным

землетрясением вблизи Киото -1980 г. [Gokhberg et al, 1982], перед Шикотанским землетрясением 1994 г. и рядом других сейсмических событий.

Уже имеющаяся статистика по электромагнитным предвестникам перед сейсмическими событиями различных классов, насчитывает сотни подтвердившихся результатов, тем не менее, до настоящего времени ученым не удается объяснить особенности спектрального состава, пространственно-временной структуры, условий зарождения, генерации и распространения аномальных всплесков ЭМИ в геосферах Земли.

Перед исследователями аномальных электромагнитных излучений (АЭМИ) на современном этапе стоят достаточно сложные задачи: выявление взаимосвязи АЭМИ с основными геолого-геофизическими процессами в зонах подготовки сейсмических событий, определение источников поля и механизма генерации ЭМИ, пространственно-временных характеристик регистрируемых явлений. Это предполагает не только постановку измерений на сети станций, но и применение качественно иной цифровой техники сбора и анализа данных. Такие системы получили в настоящее время свое развитие и были применены при создании Северокавказской геофизической обсерватории в районе Эльбрусской вулканической области [Л.Е. Собисевич и др., 2002].

Переходя к решению затронутой проблемы, остановимся, прежде всего, на экспериментальных данных, которые были получены российскими учеными на Гармском полигоне.

Наличие широкого комплекса геофизических наблюдений на сети станций Гармского полигона создало в 70-90-е годы прошлого столетия благоприятную возможность получения качественной геофизической информации о разномасштабных сейсмических процессах. Это, прежде всего, относится к измерениям деформаций и наклонов земной поверхности приборами, позволяющими получить данные с широким временным разрешением. Здесь же проводилась регистрация ЭМИ. Выбор района исследований был обусловлен высоким уровнем сейсмичности в его пределах и наличием на полигоне развитой

системы мониторинга различных параметров, в том числе геоэлектрических [А.Я. Сидорин, 1990, 1991; А.Я. Сидорин и др., 1983].

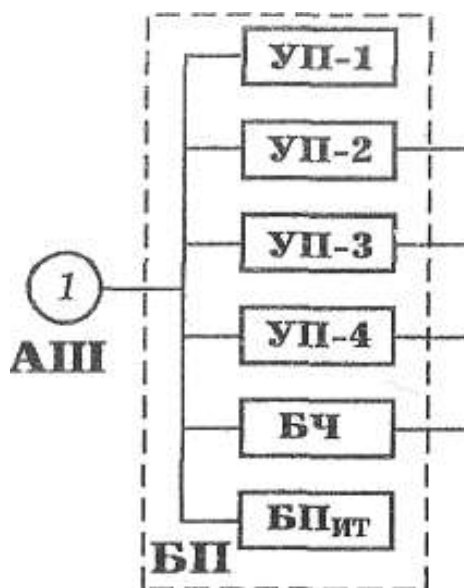


Рисунок 1 - Блок-схема датчика ДЭИ-1 для регистрации ЭМИ.

На первом этапе рекогносцировочные наблюдения АЭМИ были поставлены в основном на ст. Чусал [А.Я. Сидорин, 1990]. Для измерения была использована аппаратура, разработанная И.В. Матвеевым [1990], которая позволила проводить измерения в диапазонах частот 1-2 кГц, 1-10 кГц и 11-12 кГц. В каждом канале имеется возможность вести регистрацию методом счета импульсов на нескольких порогах и методом огибающей. Использование этих двух интегральных методов представления данных позволяет контролировать процессы, как в масштабе суточных вариаций, так и в интервалах первых десятков минут.

Эта аппаратура состоит из датчика (ДЭИ-1) и регистрирующих приборов, в качестве которых могут использоваться: магнитофон, самописец, или потенциометр типа КСП. Назначение аппаратуры — исследование естественного электромагнитного поля. Диапазон частот, в котором работает прибор, — от 100 до 199 Гц. Чувствительность по входному сигналу — не хуже 20 мкВ. Питание датчика осуществлялось от источника постоянного тока напряжением 16В. Была возможность автономного питания от аккумуляторных батарей.

В комплект ДЭИ-1 входят электронные часы, которые выдают текущую информацию в виде последовательного кода времени для записи на регистратор, а также имеют дисплей для визуального контроля их хода.

Датчик (ДЭИ-1) состоит из двух основных функционально законченных блоков: шаровой антенны, на которую осуществляется прием электромагнитного излучения, и блока преобразователя. Шаровая антенна является выносным элементом прибора и устанавливается на специальной треноге. Соединяется антенна с блоком преобразователя кабелем длиной 100 м. Сама антенна представляет собой полый металлический шар диаметром 250 мм, внутри которого, на специальной подставке, установлен антенный усилитель.

Блок преобразователя (БП) был выполнен на основе унифицированных конструктивов типа АСЭТ. В БП входили четыре блока «узкая полоса» и блок часов. По сути своей датчик (ДЭИ-1) представляет собой параллельный многоканальный спектроанализатор, каналы которого построены по принципу прямого усиления. Блок-схема датчика (ДЭИ-1) представлена на рисунке 1.

Шаровая антенна (1) — АШ принимает ЭМИ, а предварительный усилитель, расположенный внутри, усиливали полученный сигнал в 20-30 раз. Усиленный сигнал по кабелю передается на блок преобразователя (БП), где он разделяется по спектральным полосам (УП-1; ... УП-4), выделяются и формируются импульсы, подсчитывается и формируется выходной сигнал. Выделенные и сформированные импульсы разделяются с помощью компараторов на различные уровни и по разным каналам, в зависимости от порога срабатывания, поступают на 10-разрядные счетчики. На рисунке 2 приведены данные суммарного за час числа импульсов ЭМИ, амплитуды которых  $S_f = 0,3$  кГц превышали значения 2 мВ/м за период с 21 июня по 07 июля 1990 г.

Таким образом, каждый блок «узкая полоса» имел три выхода по трем уровням.

Счетчики подсчитывали импульсы и сумму их выдавали на схемы ПАП (цифроаналоговый преобразователь). На выходах этих схем формируется сигнал, постоянная составляющая которого соответствует средней частоте импульсов.

Эти сигналы и фиксируются многоканальным регистрирующим устройством. Блок питания обеспечивает все узлы необходимыми стабилизированными напряжениями.

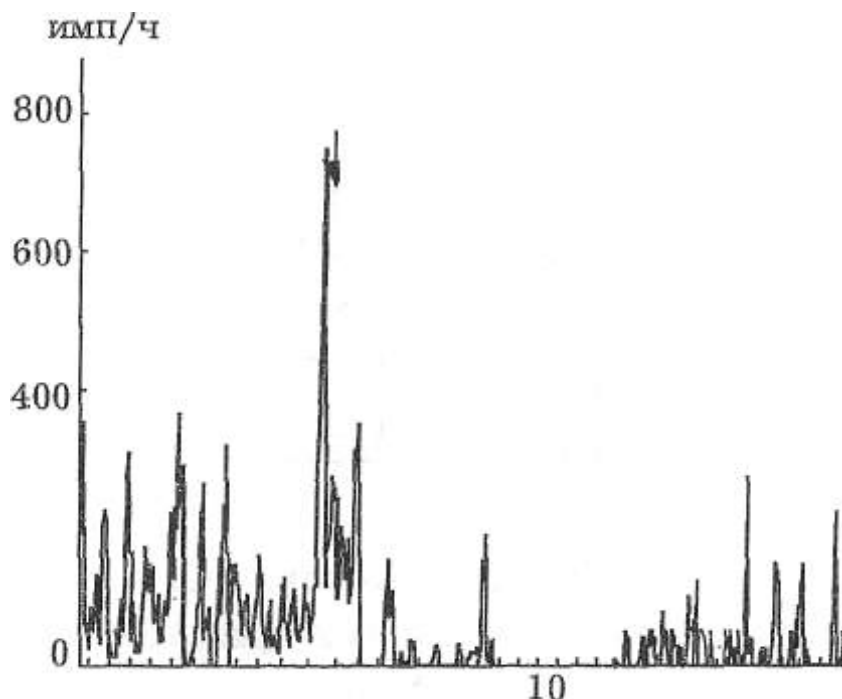


Рисунок 2 - Изменения суммарного за час количества регистрируемых импульсов ЭМИ для частотного диапазона 12 кГц, частоте 1,5 кГц, при  $S_f \sim 0,5$  кГц 01.

Обработка данных, зафиксированных регистратором, осуществляется вручную. На рекогносцировочном этапе работ в полевой сезон 1990 г. регистрация ЭМИ на ст. Чусал проводилась на 12-канальном самописце КСП-4. В целом регистрировалось 8 каналов в различных частотных диапазонах и при различных пороговых уровнях чувствительности с регистрацией интегральных характеристик один раз в 72 с.

В летний период основной помехой является грозовая активность, мощные разряды которой не могут быть отфильтрованы. Участки записи при близкой грозовой деятельности легко идентифицируются на записи по характерным особенностям времени проявления и высокой интенсивности. Очевидно, что эти периоды должны быть полностью исключены из анализа и представляют собой зону потери данных. В целом, это время, даже в активный грозовой период,



составляет не более 10% всего времени наблюдений и может быть исключено из измерений в автоматическом режиме,

Установлено, что помехи в ЭМИ могут создавать и некоторые другие сезонные метеофакторы: пыльные бури (афганец), метели и др. Эти особенности определяются при проведении измерений в течение года. По результатам экспериментальных исследований проведена обработка данных ЭМИ за период с 21 июня по 25 августа 1990 г. Записи ЭМИ характеризуются устойчивым суточным ходом с диапазоном изменения сигнала до 15 дБ.

За весь период наблюдений зарегистрировано 73 местных сейсмических события с энергетическим классом  $K > 4$ , наибольшими из которых ( $K > 9$ ) были события 01.07.1990 г. в 15 ч 49 мин UT с энергетическим классом  $K = 10,5$ ; глубиной гипоцентра  $H = 5,5$  км и эпицентральной дистанцией от пункта регистрации ЭМИ  $R = 18$  км и 17.08.1990 г. в 16 ч 32 мин UT с  $K = 9,1$ ;  $Я = 10$  км;  $Л = 20$  км. Именно этим двум событиям предшествовали заметные (более чем в 2 раза) повышения числа регистрируемых импульсов.

Для иллюстрации динамики сигнала во времени на рисунке 3 представлен полученный методом наложения эпох суточный ход числа регистрируемых импульсов для частоты 1,5 кГц и 0,5 кГц в период наблюдения с 21 июня по 07 июля 1990 г.

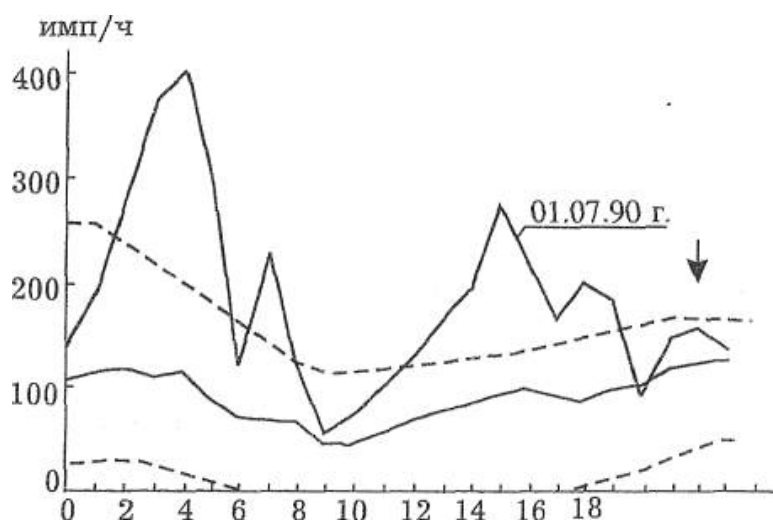


Рисунок 3 - Сопоставление суточного хода количества импульсов ЭМИ. Штриховые линии показывают границы изменений суточного хода за указанный интервал времени.

### 1.3 Характерные аномалии – предвестники часового масштаба

Остановимся на результатах по регистрации аномалий ЭМИ, имеющих характерный образ, который зарегистрирован при мониторинге землетрясения в Иране 16.09.1978 г. В этом эксперименте впервые была опробована новая для подобных наблюдений методика измерений - регистрация высокочастотного сигнала в виде огибающей с постоянной времени в несколько секунд одновременно на трех частотах с записью сигнала на перописец [М.Б. Гохберг и др., 1985]. В дальнейшем данный образ сигнала - предвестника неоднократно подтверждался при землетрясениях в различных сейсмоактивных регионах.

Предшествующими исследованиями установлено, что аномальное ЭМИ, регистрируемое перед землетрясениями, имеет импульсную природу. Таким образом, спектр излучения должен быть достаточно широким. Это дает возможность проводить исследования и в диапазоне радиочастот.

В период проведения методических работ в Дагестанской АССР (пос. Хнов) в августе-октябре 1978 г. в комплекс параметров наблюдения были включены: геомагнитное поле, токи атмосфера-земля, напряженность электрического поля в воздухе, проводимость воздуха, акустические возмущения в инфразвуковом диапазоне, метеорологические параметры. Для наблюдения за радиоволновыми частотами использовали серийную аппаратуру в диапазоне частот  $10^4$ - $10^6$  Гц. Для круглосуточных наблюдений выбраны частоты 27; 385; 1630 кГц по минимуму помех.

Участок записи 01 июля и в следующие за ним сутки заметно выделяется из общего хода суточной вариации.

Аномалии к моментам землетрясений выделяются более отчетливо, если применить метод обработки, согласно которому вклад литосферных факторов в суммарный сигнал, регистрируемый на поверхности, повышается при анализе значений ЭМИ в период минимума суточной вариации. При этом можно ожидать, что отношение литосферного сигнала к общему шуму атмосферы в дневные часы

(т.е. 9-11 UT, 14-16 LT) повысится в связи с уменьшением вклада за счет фактора ионосферного (ночного) прохождения.

В целом, ход кривых для различных частотных диапазонов проявляет сходные черты. Однако для рассмотрения вопроса об эффективности того или иного частотного диапазона и для подтверждения сейсмогенной природы наблюдаемых АЭМИ необходим больший объем данных.

В период проведения наблюдений 16.09.1978 г. на территории Ирана произошло сильнейшее в истории страны землетрясение с магнитудой  $M = 7,7$ . Координатами эпицентра этого сейсмического события составили:  $33^{\circ}35' \text{ N}$ ;  $57^{\circ}40' \text{ E}$ . Расстояние от пункта инструментальных наблюдений до эпицентральной зоны составило около 1200 км.

Землетрясение было приповерхностным с глубиной очага  $H \approx 5 \text{ км}$ , что обусловило сильные разрушения на площади  $1000 \text{ км}^2$  и вызвало появление на поверхности большого числа свежих разломов, наибольшие из которых достигали длины до 40 км при смещении бортов до 30 см. Огромные площади были покрыты многочисленными глубокими трещинами. Во многих местах имели место крупные оползни.

Обратимся к анализу результатов наблюдений. На рисунке 3 приведен участок регистрограммы огибающей электромагнитного излучения непосредственно перед этим крупным сейсмическим событием. Интенсивность излучения приведена в единицах отношения сигнала к невозмущенному фону. Для записи в предшествующее землетрясению время необходимо отметить характерную устойчивость уровня фона на выбранных частотах. За время порядка одного часа до момента землетрясения отмечено аномальное возмущение фона на всех трех частотах, активность которого постепенно нарастала, достигнув наибольшего уровня за несколько минут до толчка. Скорость движения диаграммной ленты составляла  $0,1 \text{ мм/сек}$ , и постоянная времени интегрирования соответствовала двум секундам. Полученные данные позволяют рассмотреть динамику происходящих явлений.

С окончанием наиболее интенсивной фазы землетрясения уровень сигнала на частотах 27 кГц и 1,6 МГц резко уменьшается, однако на частоте 365 кГц он остается повышенным. Оценка интенсивности фонового излучения для частоты 385 кГц дает величину 315 мкВ/м. Максимальное значение сигнала превышало 600 мкВ/м.

Вслед за основным толчком в течение первых часов следует ряд афтершоков с магнитудой до  $M=5$  и с интервалом от нескольких часов до десятков минут. По-видимому, афтершоковой активностью можно объяснить и повышенный уровень фона на частоте 385 кГц в течение 6 часов после землетрясения. Характер зарегистрированного возмущения перед землетрясением выделяет его из различного рода вариаций фона, причиной которых являются грозовая активность или работа средств радиосвязи.

Появление излучения в широком диапазоне частот, продолжительность сигнала, синхронное его развитие с сейсмической активностью, а также отсутствие близлежащих промышленных объектов в месте приема, дает основание считать, что данное возмущение не является результатом промышленных или атмосферных помех. Эти данные - первый случай, когда удалось на столь большом расстоянии от эпицентра зарегистрировать ЭМИ. Тем не менее, следует отметить, что наблюдательный пункт (станция) находился в зоне подготовки землетрясения, радиус которого для  $M=7,7$  составляет величину порядка 2000 км.

Нет необходимости доказывать, что в случае возникновения аномального сигнала в атмосфере следует предположить одновременно и существование квазистатических или низкочастотных электрических полей у поверхности Земли. В ряде случаев эти поля могут значительно превосходить фоновые возмущения.

Проведенными расчетами установлено, что выход через поверхность радиоактивных эманаций в период подготовки землетрясения может привести к локальному увеличению проводимости воздуха в нижних слоях атмосферы до 50%, но за счет метеорологических факторов, как известно, она может изменяться на порядки [Тверской, 1949]. Именно поэтому трудно предположить, что

изменение проводимости воздуха может стать причиной генерации излучения в атмосфере.

Вопрос о возникновении сильных квазистатических электрических полей на поверхности Земли в связи с сейсмической активностью в ряде работ анализируется с различных теоретических позиций. Тем не менее, с течением времени лишь возрастает необходимость их надежного экспериментального подтверждения. Это тем более важно, что реализация экстремальных процессов в напряженно-деформируемом состоянии больших массивов горной породы на глубинах от единиц до десятков километров, ставят перед необходимостью тщательного анализа путей и возможности выхода к поверхности электромагнитной энергии с учетом ее сильного поглощения.

Проблема удельного сопротивления пород на этих глубинах является сегодня пока трудноразрешимой. Существование в земной коре структур с удельным сопротивлением порядка  $10^7$ - $10^9$  Ом·м рассматривают как исключение и в небольших объемах. В тоже время известно, что в период подготовки землетрясения и его развития удельные сопротивления объемов, участвующих в процессах деформирования, могут существенно изменять свои электрические свойства.

Так, например, механизм разогрева трением в области разрыва и испарения воды в зонах сдвига, приводящего к увеличению удельного сопротивления с 10 до  $10^{10}$  Ом·м, может в известной степени объяснить эффекты свечения атмосферы у поверхности земли при больших напряженностях электрических полей [Lockner et. al., 1983]. Это дает основание рассматривать выход к поверхности излучения из более глубоких слоев земной коры, например, по структурам повышенного удельного сопротивления вдоль плоскостей касательных напряжений как одну из принципиальных возможностей. Точность численных оценок при таких расчетах относительна, так как в значительной степени определяется исходными предположениями и выбираемыми параметрами. Тем не менее, коэффициенты затухания при распространении электромагнитных волн в однородной среде дают представление о порядках величин. Возможность сигнала распространяться в

земле на многие сотни километров от области генерации требует сопротивлений  $10^7 - 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , что обеспечивает слабое затухание сигнала с  $\alpha=5\cdot 10^{-2} \text{ дБ/км}$ . Однако согласно современным представлениям, удельные сопротивления земной коры не превышают  $10^4 - 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

В приповерхностных слоях в зависимости от региона  $\rho$  колеблется от единиц, десятков и сотен  $\text{Ом}\cdot\text{м}$  для осадочных толщ до  $10^3 - 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  в местах выхода на дневную поверхность кристаллического фундамента. Высокая проводимость поверхностных слоев дает значительное ослабление сигнала. Например, уже для  $\rho=10^2 \text{ Ом}$ , на  $f=10 \text{ кГц}$  имеем  $\alpha=10^2 \text{ дБ/км}$ . Из этого следует, что основное затухание электромагнитное излучение испытывает в поверхностных слоях земной коры.

Зона подготовки землетрясения охватывает обширные пространства. Для землетрясения, например, с  $M=8,5$  радиус зоны подготовки  $\approx 4500 \text{ км}$  [Добровольский и др., 1980]. В эту область могут входить регионы, имеющие геологические разрезы, сильно отличающиеся по своим электрическим свойствам. В местах выхода на поверхность кристаллических массивов с  $\rho$  до  $10^4 \text{ Ом}\cdot\text{м}$   $\alpha=10^2 \text{ дБ/км}$ . При уровне сигнала на поверхности в  $10\text{-}10^2 \text{ мВ/м}$  значение поля на глубине в несколько км составляет сотни В/м.

Здесь уместно будет напомнить, что в случае Иранского мелкофокусного землетрясения, с глубиной очага  $H \approx 5 \text{ км}$ , допустимо предположение о выходе на поверхность излучения из очаговой зоны. Такой подход обнаруживает свою несостоятельность при рассмотрении эффекта от глубокофокусного землетрясения. Такие результаты были получены в период наблюдений за АЭМИ, поставленных в Японии в 1980 г. (в соответствии с программой научного сотрудничества между СССР и Японией) силами ученых Института физики Земли АН СССР, Университета электрокоммуникаций города Токио и Университета города Киото [Gokhberg et. al., 1982].

Измерения были проведены на обсерватории радиокосмических исследований в п. Сугадайра ( $36^\circ 31' \text{ N}$ ;  $138^\circ 19' \text{ E}$ ). Измерительный тракт состоял

из магнитной антенны 3 x 3 м, содержащей 50 витков и расположенной в N-S направлении, серийного тройного супергетеродинного приемника с полосой принимаемых частот 14 - 600 кГц в шести диапазонах. Сигнал из смесителя подавали на детектор и интегратор, имеющий постоянную времени  $\tau \approx 1$  сек. Огибающую высокочастотного сигнала регистрировалась на перописке со скоростью 0,5 мм/мин. К анализу также привлекались данные по регистрации электромагнитного излучения в диапазоне VLF на имеющейся в обсерватории Сугадайра аппаратуре, работающей по международной программе изучения распространения вистрелов.

Наиболее важным вопросом на начальном этапе исследований - вопрос о выборе частоты наблюдения. Из-за большой насыщенности эфира в любом частотном диапазоне на территории японских островов эта задача требовала дополнительного внимания. Предварительными наблюдениями установлено, что частота  $81 \pm 0,5$  кГц находящаяся между передатчиками двух навигационных систем LORAN и Десса, удовлетворяла поставленным условиям. Непрерывные записи, сделанные на этой частоте, убедили в наличии спокойного уровня фона в ночные и дневные часы.

В период проведения совместного эксперимента 07.33 UT 31 марта 1980 г. имело место землетрясение с магнитудой  $M = 7$  и эпицентром с координатами  $35,4^\circ\text{N}$  и  $135,3^\circ\text{E}$  недалеко от г. Киото. Расстояние от эпицентра до обсерватории Сугадайра составляло около 250 км. Землетрясение было глубокофокусным с глубиной очага  $H \approx 480$  км. За полчаса перед землетрясением отмечено аномальное увеличение интенсивности фона. Амплитуда превысила нормальный уровень более чем на 15 дБ при фоновом значении  $\approx 8$  мкВ. В момент землетрясения интенсивность резко возвращается к невозмущенному уровню. Вид зарегистрированной аномалии ЭМИ приведен в работе [М.Б. Гохберг и др. 1979].

В соответствии с международной программой штатная аппаратура обсерватории по регистрации VLF эмиссий работала в автоматическом режиме с регистрацией в течение 80 сек на магнитную ленту сигнала в широкой полосе

частот каждые 30 минут. Один из периодов этой записи совпал с временем появления аномалии на частоте 81 кГц. Данные с магнитных лент были обработаны на анализаторе спектра. В период наблюдений УТ существенно отличается от других периодов записи. В этом интервале регистрировались необычные волновые пакеты импульсного характера, которые на сонограмме имеют вид множества пятен в диапазоне частот ниже 1,5 кГц. Подобного рода импульсного шума в VLF диапазоне на записях обсерватории Сугадайра отмечено не было. Сравнение спектральных характеристик сигнала показывает, что пиковое значение в момент аномального возмущения, имевшего место за 13 мин до землетрясения, на 39 дБ выше невозмущенного уровня фона. Следовательно, аномальное увеличение в ЭМИ, зарегистрированное на частоте 81 кГц, отмечалось и на частотах ниже 1,5 кГц, точнее в диапазоне 200 Гц - 1,5 кГц. Это доказывает, что спектр электромагнитного возмущения перед землетрясением был широким.

Отличительной чертой данного случая является то обстоятельство, что эффект впервые зарегистрирован от глубокофокусного землетрясения. Данные, полученные на Ташкентском геодинимическом полигоне, свидетельствуют об отсутствии эффектов в ЭМИ от глубокофокусных землетрясений. Это объясняется: различиями в методах, аппаратуре, чувствительности приборов или в региональных геологических особенностях и механизмов очага? Эти вопросы требуют дополнительных многолетних наблюдений в сейсмоопасных регионах России.

В литературе имеются и другие примеры аномального увеличения ЭМИ, зарегистрированные в Сугинами, пригороде г. Токио. 25 сентября 1980 г. Здесь имели место два последовательных толчка. Главный удар имел магнитуду  $M=6,1$ , а через 5 минут последовал повторный с  $M=5,3$ . Оба очага находились приблизительно на одной глубине 70-80 км и на расстоянии около 55 км от пункта наблюдения. Установлено, что интенсивность сигнала на  $f=1$  кГц увеличилась на 15-20 дБ примерно за 1 час до основного удара, в момент первого землетрясения она резко уменьшилась на 5 дБ, но оставалась на уровне, значительно



превышающем уровень фона, и только после сильного афтершока скачкообразно возвратилась на невозмущенный уровень.

Землетрясение, имевшее место в 03.47 UT 28 января 1981 г., северо-восточнее г. Токио, имело магнитуду  $M = 5,0$  и глубину очага  $H = 60$  км. В этом случае расстояние от эпицентра составляло около 50 км. Уровень сигнала превышал фоновые значения в максимуме на  $f = 12$  дБ. Аномальные изменения отмечены приблизительно за 45 минут до толчка.

Отмечая подобие наблюдаемого образа-аномалии ЭМИ, возникающего за первые часы, десятки минут до землетрясения, впервые зарегистрированным в работе [М.Б. Гохберг и др., 1979] , авторы работы [Gokhberg et. al. 1982] подтвердили возможность наблюдения такого вида аномалии в сейсмоактивном регионе, сильно отличающимся по своим геолого-геофизическим свойствам. Зарегистрированный эффект в ЭМИ при глубокофокусном землетрясении принципиально важен для понимания физических механизмов генерации ЭМИ и процессов, протекающих в зоне подготовки.

Одновременно с регистрацией  $f = 81$  кГц и VLF диапазона во время совместного эксперимента на обсерватории Сугадайра были поставлены наблюдения по регистрации ЭМИ с подземным расположением датчиков в геофизическом тоннеле Хокушин. Ограниченное пространство под землей определило применение емкостной антенны верхнего питания (шаровой антенны) в качестве датчика [М.Б. Гохберг, В.А. Моргунов и др. 1982]. Штольня длиной 100 м от устья и глубиной до поверхности по кратчайшему расстоянию порядка 60 м имела высокую стабильность по температуре. Непрерывную регистрацию ЭМИ ученые проводили по принятой выше блок-схеме в широкой полосе частот 1-100 кГц.

Суточная вариация фона характеризовалась волной с максимумом интенсивности в ночное время суток с 18 до 09 час, и минимумом в дневной период наблюдений с 09 до 18 час., UT.

В период наблюдений, предшествующий землетрясению 31.08.80 г., отмечено искажение формы суточной вариации и на уровне нескольких

процентов снижение общего уровня сигнала. В течение двух суток после землетрясения наблюдается тенденция возвращения интенсивности сигнала к первоначальному уровню.

Важно отметить, что в рассматриваемом эксперименте одновременные измерения проводились в пунктах, удаленных на десятки км. Тем не менее, отклонения от устойчивого суточного хода под землей можно соотнести с изменением в ближней зоне, где имеет место локальные изменения напряженно-деформированного состояния массива, в котором находилась и штольня, о чем также свидетельствует землетрясение магнитуды  $M=4,0$ ; имевшее место 29.03.80 г. в 18.20 UT.

Исследование аномальных электромагнитных возмущений, наблюдаемых перед сильными сейсмическими событиями в различных районах мира, и анализ полученной авторами настоящей работы наблюдательной информации показал, что одним из перспективных диапазонов частот является УНЧ диапазон, который исследован весьма слабо. В этой связи авторский коллектив приступил к построению специализированного аппаратного комплекса на базе УСУ КГФИИС КБГУ в составе Северокавказской геофизической обсерватории, который и был создан. Проведенные здесь натурные наблюдения с использованием созданного комплекса подтвердили правильность выбранного научного направления.

## **1.4 Общая характеристика научного потенциала**

### **1.4.1 Состав УСУ КГФИИС КБГУ**

В числе уникальных научных объектов в районе Эльбрусского вулканического центра в первую очередь следует назвать Баксанскую нейтринную обсерваторию Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН включает подземные физические экспериментальные комплексы мирового значения.

На базе этой лаборатории расположены основные системы УСУ КГФИИС КБГУ.

Территориально Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН находится в Баксанском ущелье (п. Нейтрино) в 30 км к юго-западу от г. Тырныауз. Ее основные лаборатории расположены в специальных выработках горного монолитного массива в непосредственной близости от вулкана Эльбрус. Две параллельные штольни (главная и вспомогательная) Баксанской нейтринной обсерватории (рисунок 4) пройдены в горном массиве горы Андырчи со стороны Баксанского ущелья на глубину 4300 - 4200 метров, соответственно. Координаты обсерватории:  $43^{\circ}16,338' \text{ N}$  и  $42^{\circ}40,878' \text{ E}$ . Высота места 1740 м. Расстояние от вершины Эльбруса 21,9 км. Азимут штольни  $-150^{\circ}37'$ .

Удобное расположение и современное оснащение Баксанской нейтринной обсерватории, в которой работают многие выдающиеся российские ученые, предоставляют неограниченные возможности для проведения широкомасштабных научных экспериментов с привлечением специалистов и из других стран.

Сегодня в подземных лабораториях Баксанской нейтринной обсерватории ведутся фундаментальные исследования в области физики атомного ядра, элементарных частиц, физики космических лучей и нейтринной астрофизики; изучаются волновые процессы во всех геосферах Земли, литосферные деформации, гравитационные, тепловые, электромагнитные и сейсмические поля; исследуются неоднородные магматические структуры Эльбрусского вулканического центра.

Баксанская нейтринная обсерватория – крупный научный объект Российской академии наук, пользующийся мировой известностью.



Рисунок 4 - Главная штольня Баксанской нейтринной обсерватории. На переднем плане видно ограждение 70-метрового лазерного интерферометра - деформометра.



Рисунок 5 - Вакуумный насос лазерного интерферометра-деформометра.

В процессе создания и развития физических экспериментальных установок на Баксанской нейтринной обсерватории возник комплекс уникальных научных сооружений, отвечающий всем современным требованиям, как со стороны физиков экспериментаторов, так и со стороны геофизиков.

В состав Баксанской нейтринной обсерватории входят следующие научные подразделения:

- лаборатория «Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп»;
- лаборатория низкофоновых исследований;
- лаборатория «Галлий-германиевый нейтринный телескоп»;
- лаборатория «Баксанский лазерный интерферометр-деформограф»;
- три геофизические лаборатории;
- группы радиоэлектроники, мини ЭВМ и ряд производственных подразделений ИЯИ РАН.

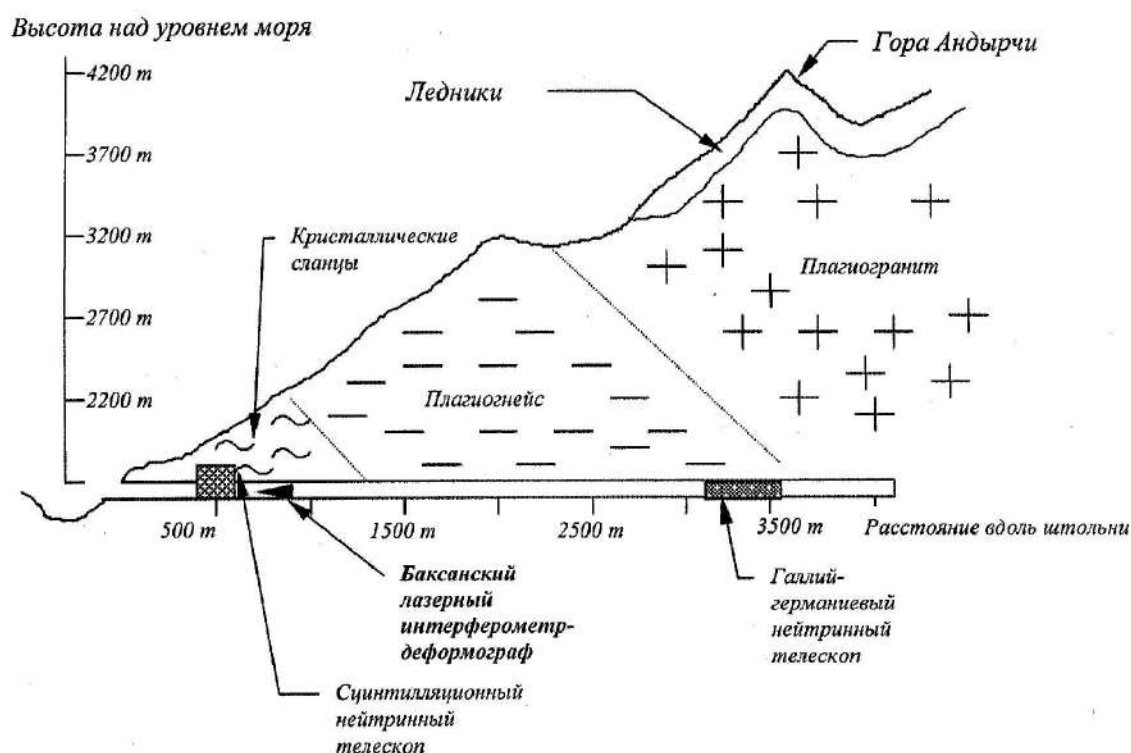


Рисунок 6 - Схематический разрез горы Андырчи вдоль штольни Баксанской Нейтринной Обсерватории.

#### 1.4.2 Лаборатория «Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп»

Лаборатория «Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп» оснащена комплексом современных физических приборов и систем. В настоящее время научные исследования проводятся на следующих установках:

-Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ).

-Андырчи - нагорная установка для регистрации широких атмосферных ливней.

-КОВЕР-2 - подземный мюонный детектор.

-БПСТ - многоцелевая подземная установка, предназначенная для решения научных проблем астрофизики, физики элементарных частиц и космических лучей.

Сцинтилляционный телескоп расположен в горной выработке объемом 12000 м<sup>3</sup> на расстоянии 550 м от начала главного горизонтального тоннеля (см. рисунок 6).

Относительно небольшая глубина расположения телескопа дала возможность с одной стороны снизить фон атмосферных космических лучей в 5 тыс. раз, что позволило решать задачи регистрации редких процессов (измерение потока мюонов, рожденных нейтрино высоких энергий, поиск нейтринных всплесков, сопровождающих коллапс звезд в Галактике), а с другой – это дало возможность с хорошей статистической обеспеченностью решать большой круг задач в области физики космических лучей.

В 1995 г. начала свою работу нагорная установка АНДЫРЧИ, предназначенная для регистрации атмосферных ливней. Установка расположена на склоне горы Андырчи, над телескопом и состоит из 37 стандартных детекторов на основе пластмассовых сцинтилляторов площадью 1 квадратный метр каждый. Детекторы расположены на площади 4,5-104 м<sup>2</sup> с шагом 40 м. Здесь проводятся исследования в области гамма-астрономии сверхвысокой энергии и анизотропии первичных космических лучей, а ее совместная работа с подземным сцинтилляционным телескопом позволяет существенно улучшать результаты по изучению химического состава первичных космических лучей.

Установка КОВЕР-2 предназначена для исследований жесткой компоненты космических лучей и широких атмосферных ливней. Следует особо отметить, что она является уникальной в широком смысле, так как по величине непрерывной чувствительной площади 200 м<sup>2</sup> ни одна из имеющихся в мире аналогичных

установок даже не приближается к ней. Центральная часть установки и 6 выносных пунктов общей площадью по 9 м<sup>2</sup> составлены из тех же детекторов, что и БПСТ.

Подземный мюонный детектор предназначен для совместной работы с установкой КОВЕР (в данный момент для совместной работы включена центральная часть 175 м<sup>2</sup>). Непрерывная площадь регистрации 700 м<sup>2</sup> - рекордная для аналогичных установок, а пороговая энергия для регистрируемых мюонов равна 1 ГэВ. В числе основных задач, которые в настоящее время проводятся на этой установке, следует отметить следующие:

- исследование структуры центральной части широких атмосферных ливней;
- исследование вариаций космических лучей;
- исследование анизотропии космических лучей;
- гамма-астрономия сверхвысоких энергий.

#### **1.4.3 Лаборатория низкофоновых исследований**

Низкофоновые камеры лаборатории расположены практически в конце штольни. Благодаря использованию ультраосновной горной породы - дунита и низкофонового бетона в качестве защитных материалов, радиационный фон уранового и ториевого рядов в помещении лаборатории был снижен более чем в 200 раз от уровня фона окружающей горной породы.

Размещенные в этих лабораториях сцинтилляционные, полупроводниковые и газовые ультранизкофоновые детекторы окружаются дополнительными слоями пассивной защиты из свинца, меди, вольфрама и борированного полиэтилена. Используется также активная сцинтилляционная защита от проникающей компоненты космических лучей.

Проводимые низкофоновые исследования включают работы как фундаментального, так и прикладного характера. Целый ряд экспериментов, имеющих целью поиск очень редких ядерных распадов и электро-слабых

процессов, проводятся на подземных низкофоновых установках Баксанской нейтринной лаборатории.

В лаборатории выполняется следующий комплекс научных работ:

- изучается закон сохранения электрического заряда;
- ведется проверка постоянства интенсивности космических лучей;
- ведется поиск сверхплотных ядер;
- изучается двойной бета-распад;
- уточняется скрытая масса Вселенной, и исследуются Массивные нейтрино.

#### **1.4.4 Лаборатория «Галлий-германиевый нейтринный телескоп (ГГНТ)»**

Одной из фундаментальных проблем современной физики - проблема солнечных нейтрино. Существующие до сих пор исследования сходятся на том, что поток солнечных нейтрино, по крайней мере, вдвое меньше, чем ожидалось на основании наших представлений о строении и работе Солнца. Сравнение величины потока солнечных нейтрино, измеряемой на галлий-германиевом нейтринном телескопе, с величиной, предсказанной стандартной солнечной моделью, в значительной степени определяет дальнейшее направление поиска решения проблемы солнечных нейтрино.

Галлий-германиевый нейтринный телескоп расположен на расстоянии 3600 м от устья м. Камера телескопа имеет длину 60 метров, ширину 12 м, высоту 10 м. В телескопе используется в качестве мишени 50 т металлического галлия. Учеными лаборатории разработана уникальная методика извлечения единичных атомов германия, образованных солнечными нейтрино из большой массы металлического галлия. Создано химико-технологическое оборудование для извлечения микроколичеств германия из галлия, его концентрирования, синтеза моногермана. Созданы низкофоновые системы регистрации редких распадов изотопов германия. Эти работы пользуются заслуженным вниманием мирового научного сообщества. В настоящее время в рамках Программы международного сотрудничества проводится эксперимент SAGE совместно с учеными из Лос-



Аламосской национальной лаборатории и Пенсильванского университета США по непрерывному измерению потока солнечных нейтрино, который необходимо продолжать в течение 11-летнего солнечного цикла.

В настоящее время на БНО совместно с другими подразделения ИЯИ РАН разрабатываются несколько проектов крупных подземных установок нового поколения по регистрации солнечных нейтрино. Эти проекты предусматривают получение качественно новой информации по сравнению с существующими научными данными.

#### **1.4.5 Лазерный интерферометр-деформограф**

Силами сотрудников лаборатория лазерной интерферометрии ГАИШ МГУ в подземной штольне смонтирован и введен в рабочий режим уникальный по своим характеристикам прибор – длиннобазовый лазерный интерферометр – деформограф. Прибор расположен в подземном туннеле Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН (в штольне «Главная» на удалении 800 метров от входа). Лазерный интерферометр-деформограф представляет собой неравноплечий (с длиной плеча 75 м) вакуумированный интерферометр Майкельсона для прецизионных измерений литосферных деформаций в широком диапазоне частот. Инструментальная разрешающая способность прибора к измерению деформаций равна  $2,3 \times 10^{-13}$  и сравнима с аналогичной характеристикой лучших геофизических лазерных интерферометров в мире. Порог чувствительности ограничивается техническими флуктуациями частоты лазера и для частот порядка 1 кГц составляет величину  $10^{-16} \text{ Гц}^{-1/2}$ . Прибор такого типа единственный в европейской части России.

В режиме службы (непрерывные наблюдения) запись деформаций производится практически в «бесконечном» динамическом диапазоне по пяти частотным каналам: НЧ (0–0,1 Гц), «Тремор» (0,1–10 Гц), сейсмическому (квадратурные компоненты на частоте 31 Гц), «Помеха» (ограничивающая частоты 118 Гц), сейсмоакустическому (квадратурные компоненты на частоте 1620 Гц).

Запись деформаций сопровождается данными метеорологической информации (три канала температуры и один канал давления) и контрольной информации (флуктуации частоты лазера и давления вакуума).

Одна из основных задач интерферометра – участие в комплексном геолого-геофизическом мониторинге Приэльбрусья, проводимом учеными ИФЗ РАН, ГАИШ МГУ, КБГУ. Прибор органически вошел в состав Баксанской геофизической обсерватории.

#### **1.4.6 Центр астрономических и медико-биологических проблем**

Заслуживает внимания и Центр астрономических и медико-биологических проблем, учредителями которого являются Российская Академия Наук. Он включает три крупных научных объекта:

1. Астрономическую обсерваторию на пике Терскол.
2. Медико-биологическую станцию (МБС, пос. Терскол).
3. Лабораторный корпус (пос. Эльбрус).

Астрономическая обсерватория расположена на пике Терскол. Высота 3100 м над уровнем моря. На вооружении Обсерватории 2 оптических телескопа с диаметром зеркал 1 м и 2,5 м.



Рисунок 7 - Главный купол астрофизической обсерватории. На заднем плане вулкан Эльбрус.

Телескопы позволяют осуществлять наблюдения за небесными телами в видимом спектре. Современный компьютерный комплекс осуществляет обработку результатов наблюдений, которые по системе INTERNET передаются в вычислительный центр для дальнейшей обработки и изучения полученной информации.

Астрономическая обсерватория располагает и солнечным телескопом, который позволяет проводить детальное изучение поверхности Солнца. Значительная высота над уровнем моря и высокая прозрачность воздуха дают возможность ученым круглогодично и с высокой эффективностью проводить здесь астрономические наблюдения.

Медико-биологическая научная станция является уникальным полигоном для исследования влияния гипоксии на организм живых организмов и организм человека. Она располагает прекрасной барокамерой, позволяющей имитировать условия, соответствующие подъему на высоту до 12 тыс. м над уровнем моря. Практически все Гималайские экспедиции перед выездом в Гималаи для совершения восхождений на вершины высотой свыше 8 тыс. м над уровнем моря проходили тестирование в барокамере медико-биологической станции.

Большие работы в этом регионе проводят и ученые Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ) Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ РАН).

Ученые КБГУ совместно с учеными ИФЗ РАН, ГАИШ МГУ, ИГЕМ РАН, ИЗМИРАН и ИДГ РАН традиционно проводит в этом регионе исследования, связанные с изучением геолого-геофизических процессов в районе вулканической постройки Эльбруса.

Здесь на первый план выходят научные исследования в таких областях как деформометрия, сейсмометрия магнитометрия и гравиметрия. Следует отметить, что в 50 – 60-х годах прошлого столетия ученые ГАИШ внесли существенный вклад в ликвидацию «белых пятен» гравитационного поля нашей планеты,

проводя измерение силы тяжести в труднодоступных регионах, включая Эльбрусский вулканический центр.



Рисунок 8 - Постамент солнечного телескопа с установленными сейсмическими датчиками. Астрономическая обсерватория на пике «Терскол».

В последние годы ученые ГАИШ МГУ и ИЯИ РАН завершают работы по созданию установки – Проект ОГРАН, который включает комбинированную опто-акустическую гравитационную антенну для поиска релятивистских звездных событий в Галактике и её близкой окрестности. Оригинальным элементом проекта является одновременное использование акустической и оптической степеней свободы для детектирования гравитационных всплесков, излучаемых коллапсирующими объектами. Принципиальная конструкция установки образована резонансным твердотельным цилиндрическим детектором с оптическим ФП резонатором вдоль центральной оси симметрии детектора, что дает «акустическую» и «оптическую» составляющие отклика, способствуя лучшей фильтрации слабого сигнала.

Ученые полагают, что им удастся достигнуть чувствительности на уровне криогенных гравитационных антенн по метрическим возмущениям; имеются резервы дальнейшего повышения чувствительности.

Заканчивая характеристику научного потенциала Приэльбрусья отметим, что здесь находится и Эльбрусская учебно-научная база имени профессора Г.К. Тушинского географического факультета МГУ.

База расположена в районе Баксанского ущелья ( $43^{\circ}18' \text{ N} - 42^{\circ}28' \text{ E}$ ) на высоте 2326 м у самого подножья Эльбруса (рисунок 9).



Рисунок 9 - Эльбрусская учебно-научная база имени профессора Г.К. Тушинского (Географический факультет МГУ).

Она предназначена для проведения широкого спектра гляциологических и других исследований, учебных и производственных практик студентов географического факультета МГУ и других институтов.

Асфальтированная автодорога связывает поляну Азау с Нальчиком (128 км) и с аэропортом «Минеральные Воды» (180 км). От поляны Азау вверх к ледникам Эльбруса можно подняться в вагоне маятниковой канатной дороги до высоты 3450 м, а еще выше до 3700 м - в креслах канатной кресельной дороги. Такого же типа подъем можно совершить на склоны хребта Чегет до высоты 3000 м.

#### **1.4.7 Баксанская геофизическая обсерватория. Состав УСУ КГФИИС КБГУ**

Теоретические и экспериментальные исследования в области вулканологии наметили два пути зондирования заглубленных магматических структур вулканов: анализ микросейсмического фона вблизи вулканической постройки и изучение наведенных волновых структур и не волновых движений, возникающих при активном воздействии на вулканические образования (камеру, очаг и др.).

Реализация обоих методов потребовала предварительного изучения геофизической и микросейсмического фонового шума в районе вулканической постройки и создания, соответствующих (по амплитудно-частотным характеристикам) задаче и фоновой обстановке, информационно-измерительных сейсмических и геофизических систем, их оптимальному размещению в штольне и на вулканической постройке, разработке эффективных методов обработки и анализа поступающей информации.

При создании Баксанской геофизической обсерватории, предназначенной для изучения всего комплекса наведенных волновых и не волновых процессов в регионе, ставилась цель охватить весь круг задач, отражающих достаточной мере структуру и поведение магматических образований в районе Эльбрусского вулканического центра. Успешное решение поставленной проблемы потребовало создания на первом этапе трех отдельных лабораторий, в которых установлены современными геофизические приборы.

Территориально лаборатории располагаются в двух отдельных камерах (оборудованных в боковых вырубках) штольни «Главная» на углублении от входа 1500 метров (рисунок 10), штольни «Вспомогательная» на углублении 4100 метров от входа (рисунок 11) и в городе Нальчике на территории КБГУ в специально подготовленном заглубленном помещении (рисунок 20).

В каждой лаборатории установлены в соответствии с разработанной приборной базой мощные бетонные постаменты, отлитые на выходах коренных

пород (рисунок 10). Координаты обсерватории: 43°16' северной широты 42°41' восточной долготы. Углубление под гору Андырчи 1500 м. Габаритные размеры ~ 3 × 4 × 6 м.



Рисунок 10 - Лаборатория №1. 1 - бетонный постамент 1200×1200×8000 мм;  
2 - приемная антенна трехкомпонентной магнитовариационной станции;  
3 - прецизионные наклонометры системы Д.Г. Гриднева, входящие в состав наклонометрической станции; 4 - четырехканальная сейсмическая станция; 5 - автономный регистратор геофизических процессов; 6 - локальная информационно-измерительная система сбора поступающих геофизических и сейсмических данных и передачи их по оптической линии связи на центральный сервер в наземной лаборатории.

В дальнейшем здесь планируется установка среднечастотных геоакустических информационно-измерительных систем, акустические датчики которых будут замурованы в стенки вырубki.

В настоящее время в лаборатории №1 на 15 пикете полностью смонтированы и функционируют в режиме непрерывного мониторинга следующие информационно-измерительные системы:

- Наклонометрическая станция.
- Магнитовариационная станция.
- Магнитометры индукционные.
- Региональная сейсмическая станция.



- Вспомогательное научное оборудование, обеспечивающее контроль климатических параметров (давления и температуры) и мобильные информационно-измерительные комплексы, предназначенные для работы на вулканической постройке.



Рисунок 11 - Рабочий момент. Настройка аппаратуры в вырубке на 15 пикете.

Остановимся весьма кратко на описании основных информационно-измерительных систем, установленных в лабораториях Баксанской геофизической обсерватории.

#### **1.4.8 Наклонометрическая станция**

Наклонометрическая станция, в основе которой использованы кварцевые наклонометры, разработанные и изготовленные Д.Г. Гридневым (д.т.н., главный научный сотрудник ИФЗ РАН).

Предложенная автором, Д.Г. Гридневым конструкция нового наклонометра оригинальная и отличается существенной новизной. Принципиальная схема наклонометра и другие данные представлены на рисунках 12 – 17.



В монтажной рамке 1, жестко связанной с основанием накломера при помощи конического пережима 2, на кварцевых нитях 3 подвешен маятник 4 с зеркалом 5. Масса маятника размещена в демпфирующем устройстве 6, которое служит и арретирующим устройством при транспортировании накломера. Световой поток осветителя 7, отражаясь от зеркала 5, фокусируется на дифференциальном фотозэлементе 8. В цепь фотозлемента подключен усилитель 9 информационно-измерительной системы. Один конец кварцевой пружины 10, которая расположена перпендикулярно оси маятника, связана с нижним концом монтажной рамки 1, второй – с микрометром 11. Изменения упругой силы пружины 10 при смещении микрометра приводит к наклону монтажной рамки 1 относительно конического пережима 2 в вертикальной плоскости, перпендикулярной оси маятника. Цена деления отсчетного устройства микрометра в сек. дуги наклона рамки 1 определяется при эталонировании накломера на наклонномерной плите, что позволяет определить масштаб записи в процессе регистрации наклонов земной поверхности. По своим техническим характеристикам кварцевый наклонномер системы Д.Г. Гриднева не уступает известным зарубежным наклонномерам, а по некоторым параметрам и превосходит зарубежные аналоги.

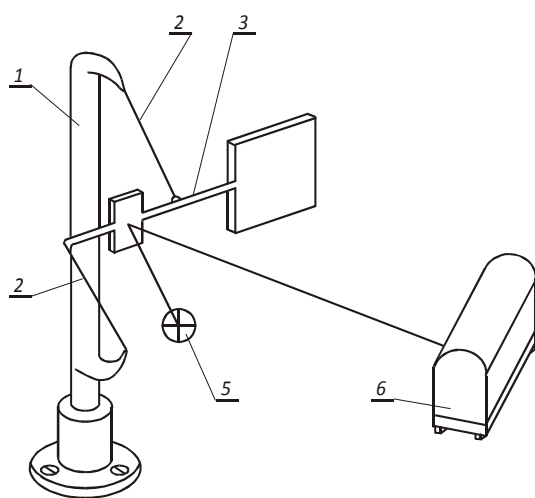


Рисунок 12 - Принципиальная схема накломера.

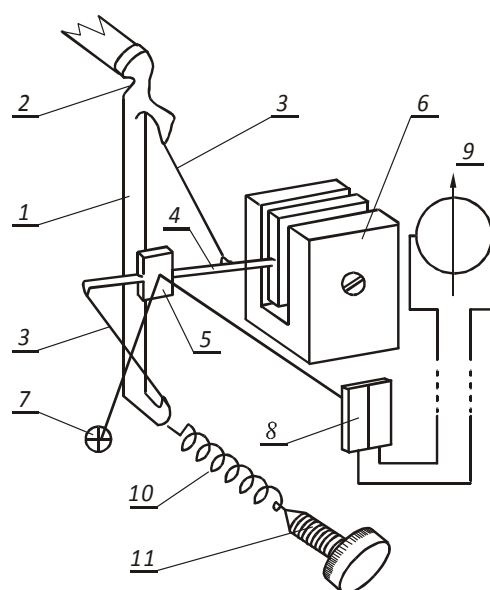


Рисунок 13 - Принципиальная схема накломера с устройством определения масштаба записи.

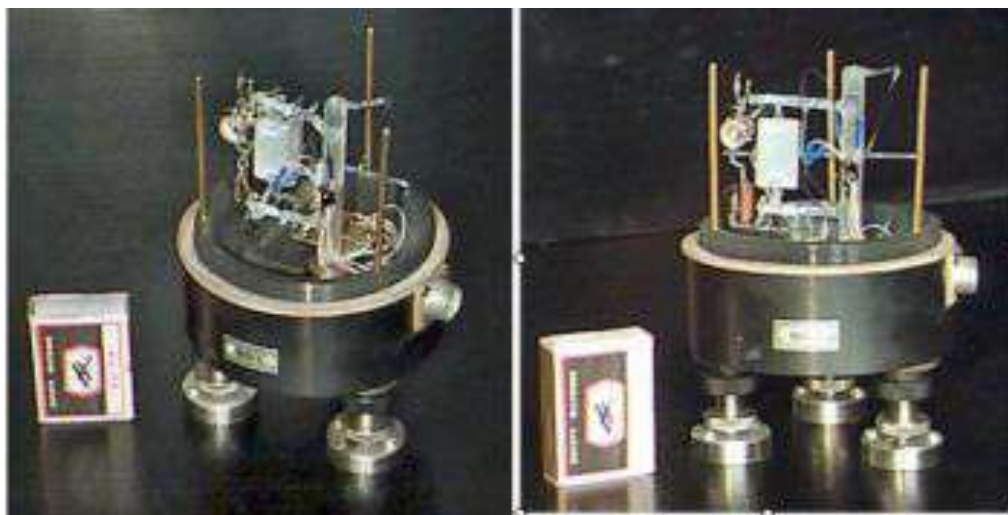


Рисунок 14 - Элемент антенны наклонметрической системы.

Защитный кожух снят.

Дело в том, что кварц имеет ряд положительных свойств. Он обладает небольшим упругим последствием и большим сопротивлением разрыву. Однородность материала деталей чувствительной системы наклономера сводит к минимуму термические и механические напряжения.



Рисунок 15 - Один из изготовленных наклонометров системы Д.Г. Гриднева в сборе. Технология изготовления чувствительных систем, в которых используется кварц, в России хорошо отлажена.



Рисунок 16 - Элемент антенны наклонметрической системы. Вид с другой стороны. Нити чувствительной кварцевой системы настолько тонкие, что их с трудом удастся рассмотреть простым глазом.

Чтобы понять, почему транспортировка этих уникальных приборов нуждается в крайне осторожном обращении, достаточно внимательно изучить их внутреннее устройство и учесть, что все элементы приборов выполнены из оптического кварца.

Технические характеристики наклономера, использованного при создании наклонметрических станций Баксанской геофизической обсерватории, следующие:

1. Порог чувствительности, сек. дуги/мВ 10-4.
2. Период собственных колебаний маятника, сек 1-50.
3. Уровень выходного электрического сигнала, В/сек. дуги  $\pm 5$ .
4. Способ калибровки электродинамический.
5. Электродинамическая постоянная, сек. дуги/мкА 0,025–0,035.
6. Управление электромагнитное.
7. Диапазон измерений без перестройки диапазона, сек. дуги до 600.
8. Регистрация сигнала аналоговая или цифровая.
9. Питание, В  $\sim 220$  или  $= 12$ .
10. Потребляемая мощность:
  - фотоэлектрического устройства с применением лампы СЦ-78, Вт 0,3;
  - фотоэлектрического устройства с применением светодиода АЛ107Б, Вт 0,03.

11. Вес, кг от 1,5-3,0.

12. Габариты, мм Ø 100, h = 100.

Чувствительность наклономера пропорциональна квадрату периода маятника, Т.



Рисунок 17 - Рабочий момент настройки наклономера с дистанционной системой регулировки чувствительности в условиях лаборатории.





Рисунок 18 - Доктор технических наук Гриднев Д.Г. и доктор технических наук, профессор Собисевич Л.Е., осуществляют настройку чувствительной системы в наклономере в «горячей» камере лаборатории №2 на постаменте № 1.



Рисунок 19 - Постамент №1 в Лаборатории №2 на 41 пикете в штольне Баксанской нейтринной обсерватории. Здесь установлены два наклономера (слева) и магнитовариационная станция (на втором плане).



Рисунок 20 - Общий вид лаборатории №3 в городе Нальчике.

Аналогичные прецизионные наклонметрические станции изготовлены и установлены нами в Лаборатории №2 на 41 пикете (рисунки 17-19) и в Лаборатории №3, расположенной в городе Нальчике (рисунки 20-21) в 2006 году.



Рисунок 21 - Трёхкомпонентная широкополосная сеймостанция, микробарограф, гравиметр и прецизионные кварцевые наклонометры наклонметрической станции на постаменте лаборатории №3 в городе Нальчике.

#### **1.4.8.1 Методика и результаты эталонирования наклонметрических антенных систем**

При разработке наклонметрических антенных систем, состоящих из нескольких наклономеров, смонтированных на бетонном постаменте в штольне Баксанской нейтринной. Наиболее существенной проблемой здесь является их эталонирование. В первых конструкциях кварцевых наклономеров для управления и эталонирования применялась упругая сила кварцевой пружины [Д.Г. Гриднев, Буланже, 1974].

При этом способе цена деления микрометра отсчетного устройства определяется в сек. дуги.

В последующих разработках для эталонирования применялся способ, при котором угол наклона рамки подвеса маятника задавался смещением ее центра тяжести. При таком способе величины наклонов рамки были постоянными [Д.Г.

Гриднев, 1981, 1985]. Методика эталонирования наклономеров одинакова, здесь дается ее описание применительно к наклономерам с электромагнитным устройством эталонирования.

1. Наклономер устанавливается на хорошо выверенную наклономерную плиту таким образом, чтобы маятник наклономера был параллелен оси вращения плиты.

2. В цепь соленоидов блока управления и эталонирования подключают магазин сопротивлений Р-33, на котором задают начальное сопротивление, равное 100000 Ом.

3. От различных блоков питания в цепь светодиода и соленоидов подают напряжение порядка 2 В.

4. В цепь фотоэлемента подключают цифровой вольтметр и винтами чувствительности наклономеру задают период собственных колебаний маятника порядка 4 с.

5. Винтом дрейфа наклономер выводят в нулевое положение (на цифровом вольтметре отсчет должен быть около нуля). По вольтметру берется отсчет  $S_1$ , и наклономерной плите задается наклон на угол  $\alpha$ , при этом на вольтметре отсчет будет  $S_2$ . Для исключения линейной части дрейфа нуля наклономера за счет наклона земной поверхности наклономерную плиту наклоняют на угол  $-\alpha$  и по вольтметру берется отсчет  $S_3$ .

Выводится среднее изменение отсчета по вольтметру  $[(S_2 - S_1) + (S_2 - S_3)]/2 = \Delta S_1$ . Определяется коэффициент  $K_1 = \Delta S_1 / \alpha$ . На магазине сопротивлений Р-33 задается такая величина сопротивления, чтобы на вольтметре отсчет изменился примерно на  $\Delta S_1$  и берется отсчет  $S_4$  (если знак отсчета на вольтметре изменился, необходимо изменить полярность подключения блока питания соленоидов). Для исключения линейной части дрейфа нуля наклономера на Р-33 задается начальное сопротивление и по вольтметру берется отсчет  $S_5$ . Выводится среднее изменение отсчета по вольтметру при изменении сопротивления на Р-33  $[(S_4 - S_3) + (S_4 - S_5)]/2 = \Delta S_2$ . С учетом величины сопротивления соленоидов, изменений сопротивлений на Р-33 и напряжения блока питания

соленоидов определяется величина изменения тока  $\Delta I$  в цепи соленоидов. Определяется коэффициент  $K_2=S_2/\Delta I$ . Получаем величину электродинамической постоянной:

$$\Phi = K_2/K_1 \frac{\Delta S_2 \cdot \alpha}{\Delta S_1 \cdot \Delta I} \text{ мсек. дуги / мкА.}$$

После многократного повторения операции получаем среднее значение электродинамической постоянной. Обычно рабочий период собственных колебаний маятника задается 4 с. Если по каким-либо соображениям период колебаний маятника необходимо изменить на несколько секунд, то в этом случае необходимо вновь определить значение электродинамической постоянной, так как ее величина при значительных изменениях периода собственных колебаний маятника может измениться.

В таблице 1 приведены результаты эталонирования наклономера НК-1 с электромагнитным управлением. Второй наклонмер (НК-2), проэталонированный также 12.07.1993 г., имел электродинамическую постоянную  $48,681 \pm 0,025$  ( $\pm 0,05\%$ ) мсек. дуги/мкА.

Таблица 1 - Результаты эталонирования кварцевого наклономера НК-1. Троицк, 12.07.1993 г.

Наклон плиты, мсек. дуги	Сопротив- ление Р-33, Ом	$\Delta S_1$ , мВ	$\Delta S_2$ , мВ	$\Delta S_1/\alpha$ ,мВ/мсек. дуги	$\Delta S_2/\Delta I$ , мВ/мкА	$\Phi$ ,мсек. дуги/ мкА
33002,4	100 000					
0		108,05		0,0032740		
	2 500					
	100 000		110,05		0,131335	40,115
33002,4						
0		108,00		0,0032725		
	2 500					
	100 000		109,95		0,131216	40,096
33002,4						
0		107,95		0,0032712		
	2 500					
	100 000		109,90		0,131156	40,097
33002,4						



0		107,90		0,0032695		
	2 500					
	100 000		109,95		0,131216	40,133
33002,4						
0		107,80		0,0032679		
	2 500					
	100 000		109,90		0,131156	40,135
33002,4						
0		108,00		0,0032725		
	2 500					
	100 000		109,95		0,131216	40,096
33002,4						
0		107,95		0,0032710		
	2 500					
	100 000		109,90		0,131156	40,097
33002,4						
0		107,80		0,0032664		
	2 500					
	100 000		109,80		0,131037	40,117
$\Phi_{cp} = 40,111 \pm 0,005 (\pm 0,01 \%) \text{ мсек. дуги/мкА}$						

Примечание - Период маятника 5,3 с; сопротивление соленоидов 13 Ом; напряжение в цепи соленоидов 2160 В; в цепи светодиода 2000 В.  $\Delta I = 837,9332 \text{ мкА}$ .

Наклонометры были установлены в 1993 г. на сейсмостанции “Геленджик” института «Океангеофизика» Министерства геологии для исследования динамики земной поверхности с целью поиска предвестников землетрясений. В 1997 г. наклонометры были снова проэталонированы на той же наклономерной плите. Их электродинамические постоянные составили:

$$\Phi_{HK1} = 40,103 \pm 0,024 \text{ мсек. дуги/мкА},$$

$$\Phi_{HK2} = 48,766 \pm 0,017 \text{ мсек. дуги/мкА}.$$

За 4 года электродинамическая постоянная накломера НК-1 изменилась на 0,02%, накломера НК-2 – на 0,17%. Это свидетельствует о высокой стабильности постоянных магнитов из викалоя.

Уравнение равновесия и угловая чувствительность накломера.

Уравнение собственного движения маятника можно записать в виде:

$$\ddot{\theta} + \varepsilon \dot{\theta} + n^2 \theta = 0 \quad (1)$$

где  $\theta, \dot{\theta}$  и  $\ddot{\theta}$  – отклонение, скорость и ускорение маятника соответственно;  $\varepsilon$  – коэффициент, характеризующий затухание;  $n$  – частота колебаний маятника.

При наклоне основания маятника на угол  $\psi$  появится дополнительный момент  $mg l \sin \psi$  ( $l$  – приведенная длина маятника) и уравнение движения маятника примет вид (рисунок 12):

$$\ddot{\theta} + 2\varepsilon \dot{\theta} + n^2 \theta = \frac{mgl}{ml^2} \sin \psi = \frac{g}{l} \sin \psi \quad (2)$$

Так как приливные наклоны имеют очень большой период, то можно принять  $\frac{g}{l} \sin \psi = \text{const}$ ,

но тогда  $\theta = \text{const}$ , а, следовательно,  $\dot{\theta} = \ddot{\theta} = 0$  и уравнение (2) примет вид  $n^2 \theta = \frac{g}{l} \sin \psi$ , откуда  $\theta = \frac{g}{ln^2} \sin \psi$  (3)

При малых углах  $\psi$   $\theta = \frac{g}{ln^2} \psi$ . Если пренебречь упругими силами нитей подвеса маятника, то  $n^2 = \frac{g}{l} \sin \iota$  и для малых углов  $\psi$  и  $\iota$   $\theta \approx \frac{\psi}{\iota}$  (4)

Однако при отклонении маятника на  $\theta$  появится возвращающий упругий момент нитей подвеса маятника  $\tau \theta$ , где  $\tau$  – постоянная кручения нитей.

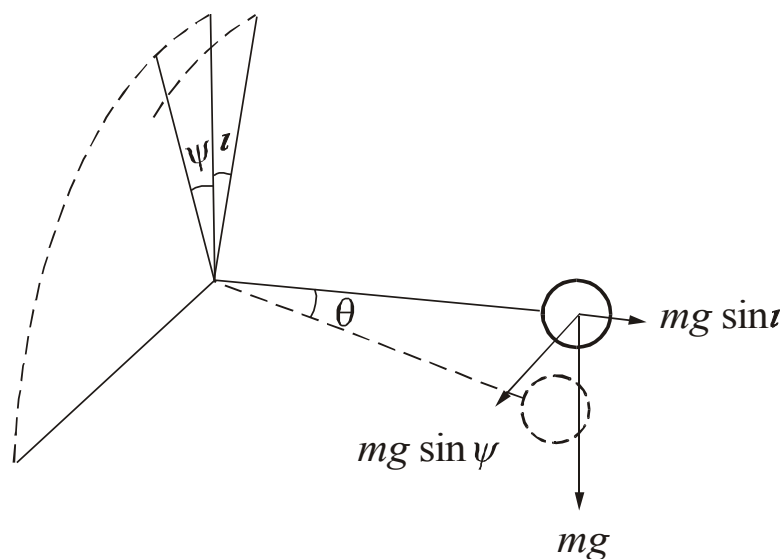


Рисунок 22 - К выводу уравнения равновесия чувствительной системы наклонометра.

Уравнение равновесия чувствительной системы можно записать в виде:

$$mgl \sin \iota \sin \theta + \tau \theta = mgl \sin \psi \quad (5)$$

Дифференцируем (5) по  $\theta$  и  $\psi$   $(mgl \sin \iota \sin \theta + \tau)d\theta = mgl \cos \psi d\psi$ , откуда

$$\frac{d\theta}{d\psi} = \frac{mgl \cos \psi}{mgl \sin \iota \cos \theta + \tau} = \frac{\cos \psi}{\sin \iota \cos \theta + \frac{\tau}{mgl}}$$

$$\text{или } \frac{d\theta}{d\psi} = \frac{\cos \psi}{\sin \iota \cos \theta + \lambda}, \text{ где } \lambda = \frac{\tau}{mgl} \quad (6)$$

$$\text{При малых } \psi, \theta, \iota, \text{ получим: } \frac{d\theta}{d\psi} = \frac{1}{\iota + \lambda} \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что угловая чувствительность системы будет тем больше, чем меньше угол между отвесом и осью вращения маятника и чем меньше упругая сила нитей подвеса маятника. При наклоне основания наклонмера на угол  $\psi$  световой поток сместится по фотоэлементу на  $y_0 = 2A\theta$ , где  $A$  – длина оптического рычага. При малых  $\psi$  с учетом (3) можно записать:

$$y_0 = \frac{2Ag}{ln^2} \psi \quad (8)$$

При этом смещение на регистрирующей ленте будет  $y$ , и отношение смещения записи на регистрирующей ленте к смещению светового потока по фотоэлементу определит коэффициент фотоэлектрического усиления:

$$K_{\Phi} = \frac{y}{y_0} \quad (9)$$

Дифференцируем выражение (3) по  $\theta$  и  $\psi$ :

$$\psi \frac{d\theta}{d\psi} = \frac{g \cos \psi}{ln^2}. \quad (10)$$

С учетом (6) можно написать  $\frac{g}{ln^2} = \frac{1}{\sin \iota \cos \theta + \lambda}$ , откуда период собственных колебаний маятника  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g(\sin \iota \cos \theta + \lambda)}}$  (11)

Как видно из (11), период собственных колебаний маятника зависит от амплитуды его отклонений. П. Мельхиор [1968] дает следующее выражение для периода собственных колебаний маятника:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \sin(\iota + \lambda)}} \quad (12)$$

и утверждает, что период маятника на кварцевых нитях не зависит от амплитуды колебаний маятника. Сравнение выражений (11) и (12) свидетельствует о том, что такое утверждение нельзя считать справедливым, и только для незначительных  $\theta$ , когда можно принять  $\cos \theta = 1$ , выражение (11) можно представить в виде  $T \approx 2\pi \sqrt{\frac{l}{g(\sin \iota + \lambda)}}$ , что близко выражению (12).

Способ определения приведенной длины и чувствительности горизонтального маятника с фотоэлектрической системой регистрации.

Существует несколько способов определения приведенной длины  $l$ : теоретический расчет, способ вертикального и способ горизонтального маятника. При использовании теоретического расчета необходимо знать общий момент инерции маятника относительно его оси, который трудно определить. При определении  $l$  способом вертикального маятника ось вращения маятника размещается горизонтально. Однако для основных типов конструкций горизонтальных маятников размещение оси вращения в горизонтальной плоскости невозможно. Поэтому  $l$  обычно определяется способом горизонтального маятника, при котором пользуются выражением [Саваренский, Кирнос, 1955]:

$$l = \frac{g}{4\pi^2} \frac{T_1^2 T_2^2}{T_2^2 - T_1^2} (\iota_1 - \iota_2) \quad (13)$$

где  $T_1, T_2$  – периоды собственных колебаний маятника для углов наклона оси вращения маятника относительно отвеса  $\iota_1$  и  $\iota_2$ , соответственно.

Автором предложен способ определения  $l$  при помощи микрометрического устройства, позволяющего производить точный замер смещения светового блика зеркала маятника в плоскости приемника при наклоне основания маятника [Д.Г. Гриднев, 1975, 1978]. Поясним способ определения  $l$  для случая горизонтального маятника с фотоэлектрической системой регистрации его показаний. На рисунке 23 изображена фотоэлектрическая схема маятника. Световой поток лампы осветителя  $L$ , отражаясь последовательно от зеркала маятника  $A$ , поворотного

зеркала  $B$ , попадает на делительную грань дифференциального фотоэлемента  $C$ . В цепь фотоэлемента включен гальванометр  $G$  с индикаторной шкалой  $I$ . Поворотное зеркало  $B$  снабжено рычагом  $D$ , смещение которого обеспечивается микрометрическим винтом  $M$ . Пусть в начальный момент световой поток находится в точке  $C$  фотоэлемента, при этом отсчет на индикаторной шкале гальванометра равен  $S$ .

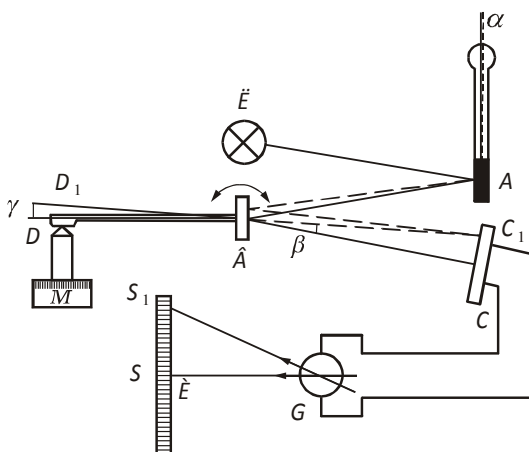


Рисунок 23 - Схема фотоэлектрического устройства маятника.

При наклоне основания маятника в плоскости, перпендикулярной плечу маятника, на угол  $\psi$  маятник отклонится на угол  $\theta$ , и световой поток сместится по фотоэлементу в точку  $C_1$ . При этом световой блик индикаторного гальванометра сместится в точку  $S_1$  шкалы. Величина смещения светового потока по фотоэлементу, согласно выражению (8):

$$CC_1 = \frac{2(AB + BC)g}{ln^2} \psi \quad (14)$$

где  $AB+BC$  – оптическое плечо маятника;  $CC_1 = BC \operatorname{tg} \beta$ , тогда:

$$CC_1 = \frac{2(AB + BC)g\psi}{ln^2} = BC \operatorname{tg} \beta \quad (15)$$

Сместим световой поток микрометрическим винтом по фотоэлементу в исходное положение, при этом отсчет по индикаторной шкале гальванометра должен сместиться в точку  $S$ . Микрометрический винт сместится из точки  $D$  в точку  $D_1$ , поворотное зеркало развернется на угол  $d$ :  $d = \operatorname{arctg} \frac{DD_1}{BD}$ .

$$\text{Очевидно, } \beta = 2d = 2\operatorname{arctg} \frac{DD_1}{BD} \quad (16)$$

с учетом (17) выражение (16) запишется в виде:

$$\frac{2(AB + BC)g\psi}{ln^2} = BC \operatorname{tg} \left( 2 \operatorname{arctg} \frac{DD_1}{BD} \right) \quad (17)$$

Обозначим  $AB = a, BC = b, BD = c, DD_1 = \Delta S$ . Учитывая, что  $\beta$  не превосходит  $1^\circ$ , перепишем выражение (17):  $\frac{(a+b)g\psi}{ln^2} = b \frac{\Delta S}{c}$ , откуда:

$$l = \frac{c(a+b)g\psi}{b\Delta S n^2} \quad (18)$$

$$\text{или } l = A \frac{T^2 \psi}{\Delta S}, \text{ где } A = \frac{c(a+b)g}{4\pi^2 b} \quad (19)$$

Вычисление  $l$  по формуле (19) проще вычислений по формуле (13). В таблице 2 приведены результаты определения  $l$  двумя способами.

Как видно из таблицы, точность определения  $l$  предложенным способом выше, чем способом горизонтального маятника.

Таблица 2 - Результаты определения  $l$ .

Способ горизонтального маятника				Способ Д.Г. Гриднева			
$T_1, \text{с}$	$T_2, \text{с}$	$\Delta t, \text{рад.}$	$l, \text{см}$	$T, \text{с}$	$\psi, \text{рад}$	$\Delta S, \text{см}$	$l, \text{см}$
3,98	4,24	0,0010	3,30	2,92	0,000125	0,0387	3,93
3,98	4,20	0,0010	3,86	2,92	0,000125	0,0388	3,92
7,00	7,52	0,0005	4,44	2,92	0,000200	0,594	4,04
6,52	7,00	0,0005	3,86	2,92	0,000200	0,0596	4,03
$l_{\text{cp}} = 3,86 \pm 0,20 \text{ см}$				$l_{\text{cp}} = 3,98 \pm 0,03 \text{ см}$			

С помощью поворотного зеркала можно определять чувствительность горизонтального маятника, как с оптической, так и с фотоэлектрической системой регистрации. Зная период и приведенную длину маятника, можно определить  $\sin \iota \cos \theta + \lambda$  из выражения (11):

$$\sin \iota \cos \theta + \lambda = \frac{4\pi^2 l}{T^2 g} \quad (20)$$

Смещение светового блика зеркала маятника в плоскости приемника равно  $y = 2(a+b)\theta$ . Интегрируя выражение (7), получим  $\theta = \frac{\psi}{\iota + \lambda}$ , тогда

$$y = 2(a + b) \frac{\psi}{\iota + \lambda}. \quad (21)$$

Таким образом, мы можем рассчитать величину смещения светового блика зеркала маятника в плоскости приемника  $y_0$  при наклоне основания наклономера, например, на 1 сек. дуги:

$$y_0 = \frac{2(a + b)0.000005}{\iota + \lambda} = \frac{(a + b)10^{-5}}{\iota + \lambda} \quad (22)$$

$$\text{Обозначим } y_0 = b \operatorname{tg} \beta_0 \quad (23)$$

Для того чтобы сместить световой блик зеркала маятника в плоскости приемника на  $y_0$  при помощи поворотного зеркала, необходимо поворотное зеркало развернуть на угол  $\beta_0/2$ , для чего микрометрическому винту отсчетного устройства необходимо задать смещение:

$$\Delta S_0 = \operatorname{ctg} \frac{\beta_0}{2}. \quad (24)$$

Выражение (24) с учетом (20)–(23) можно записать в виде:

$$\Delta S_0 = \operatorname{ctg} \left[ 0.5 \operatorname{arctg} \frac{T^2 g(a + b)10^{-5}}{4\pi^2 lb} \right] \quad (25)$$

Выражение (25) определяет цену наклона основания наклономера на 1 сек. дуги в делениях микрометрического отсчетного устройства (переведенных в единицы длины).

В случае фотоэлектрической системы регистрации, задавая «сдвиги» микрометричному устройству на  $\Delta S$  делений и получая соответствующее смещение на регистрограмме на  $m$  мм, можно определить калибровочный коэффициент  $K$ :

$$K = \frac{m}{\Delta S} \text{ мм/дел.} \quad (26)$$

или переводной коэффициент масштаба записи  $K_1$ :

$$K_1 = \frac{\Delta S}{m \Delta S_0} \text{ сек. дуги / мм.} \quad (27)$$

Учитывая, что угол  $\beta_0$  мал, выражение для  $\Delta S_0$  можно записать в виде

$$\Delta S_0 = \frac{cg(a+b)10^{-5}}{8\pi^2 bl} T^2 \quad (28)$$

или  $\Delta S_0 = BT^2$ , где:

$$B = cg(a+b)10^{-5}/8\pi^2 bl \quad (29)$$

При помощи поворотного зеркала можно определить коэффициент фотоэлектрического усиления  $K_\Phi$ :

$$K_\Phi = \frac{m\Delta S_0}{y_0\Delta S}. \quad (30)$$

Таким образом, некоторое усложнение конструкции горизонтального маятника за счет поворотного зеркала с микрометрическим отсчетным устройством вполне оправданно.

В таблице 3 даны сравнительные характеристики известных и разработанных Д.Г. Гриневым наклонеров. Как видно из таблицы, технические характеристики разработанных наклонеров выше известных образцов.

Таблица 3 - Технические характеристики наклонеров.

Параметр	Наклонер		
	автора	Островского	Мельхиора
Период собственных колебаний маятника	1–80 с	4–6 с	1–80 с
Чувствительность	0,0001 сек. дуги/мВ	0,001сек. дуги/мВ	0,001сек. дуги/мВ
Способ калибровки	Электромагнитный, пьезоэлектрический, смещением центра тяжести рамки подвеса системы, упругой силой пружины	Электромагнитный	Подпятником, деформируемым ртутью
Электродинамическая постоянная	0,02–0,04 сек. дуги/мкА	1 сек. дуги/мкА	—



Диапазон измерения	$\pm 20$ сек. дуги	$\pm 20$ сек. дуги	—
Способ регистрации	Аналоговая и цифровая	Аналоговая и цифровая	—
Вес	2 кг	15 кг	6 кг
Габариты	100×100 мм	300×300 мм	300×300×300 мм

В наклономерах Д.Г. Гриднева предусмотрены различные способы управления и калибровки: электромагнитное, смещением центра масс рамки подвеса чувствительной системы, пьезоэлектрическое и при помощи упругой силы кварцевой пружины. При этом электромагнитное управление и калибровка не требуют токоподводов к маятнику наклономера, что исключает возможность искажений в показаниях наклономера за счет токоподводов.

Исследования наклонметрических антенных устройств разработанных с использованием изобретений Д.Г. Гриднева, обеспечивающих стабилизированные периоды собственных колебаний маятника показали, что они полностью обеспечивают выполнение требований, предъявляемых к наклонметрическим станциям, установленным в районе Эльбрусского вулканического центра. Собственный период колебаний маятника в таких системах остается неизменным при наклонах земной поверхности в азимуте оси маятника на  $\pm 10$  мин. дуги, что обеспечивает высокое постоянство чувствительности наклономера и позволяет получать достоверную информацию о динамике вулканических структур.

#### **1.4.9 Трехкомпонентная цифровая магнитовариационная станции (МВС) (рабочее средство измерения)**

##### **Назначение.**

Трехкомпонентная цифровая магнитовариационная станция, в дальнейшем именуемый МВС, относится к прецизионным обсерваторским приборам стационарного типа и предназначен для измерения вариаций трех компонент вектора магнитной индукции поля Земли.



Рисунок 24 - Общий вид МВС.

#### 1.4.9.1 Технические данные

- Диапазон изменения магнитной индукции  $\pm 1000$  нТл.
- Погрешность отсчитывания  $\pm 0,1$  нТл.
- Время установления рабочего режима не превышает 10 секунд.
- Время между измерениями не менее 1 секунды.
- Измеренное значение трех ортогональных компонент вектора магнитной индукции передается через последовательный порт на компьютер и записывается в виде двоичного файла.
- Питание МВС осуществляется от источника постоянного напряжения ( $12 \pm 3$ ) В, мощностью не менее 2Вт.
- МВС работает в комнатном диапазоне температур  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ .
- Рабочее положение МВС строго привязано к сторонам света, установка производится в соответствии с данной инструкцией.
- Масса рабочего комплекта магнитометра не превышает 10кг.

#### Состав МВС.

Кварцевый датчик D..... 1 шт.

Кварцевый датчик Н.....	1 шт.
Кварцевый датчик Z.....	1 шт.
Корпус.....	1 шт.
Блок электроники.....	1 шт.
Соединительный шлейф.....	3 шт.
Соединительный кабель.....	1 шт.
Пульт калибровки.....	1 шт.
АЦП Е24.....	1 шт.
Комплект сопроводительной документации.....	1 комплект
Комплект программного обеспечения.....	1 комплект

### Структурная схема и работа МВС.

Блок схема МВС приведена на рисунке 25. В её состав входят три кварцевых датчика Н, D и Z системы Боброва (1), подключенные шлейфами (2) к блоку электроники (3), который соединительным кабелем (4) подсоединяется к пулту калибровки (5). Аналоговые сигналы с пульта калибровки (5) поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) (6). На АЦП (6), кроме сигналов магнитных датчиков (1) подается аналоговый сигнал с датчика тока калибровки. С выхода АЦП (6) цифровой сигнал по интерфейсному кабелю (7) поступает на последовательный порт компьютера (8). Напряжение питания на все блоки подается через пульт калибровки (5), кроме АЦП (6), питание, на которое поступает по интерфейсному кабелю (7) от компьютера (8).

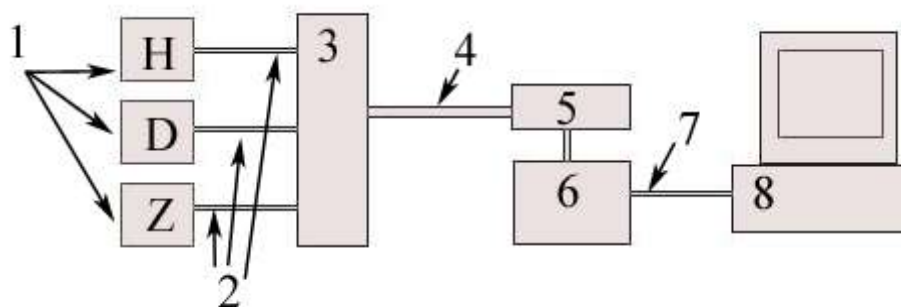


Рисунок 25 – Блок-схема МВС.

Рассмотрим более подробно составляющие блок схемы. Кварцевые магнитные датчики системы В.Н.Боброва (1) предназначены для непрерывной регистрации вариаций трёх составляющих (H,D и Z) вектора магнитной индукции. Регистрация каждой составляющей осуществляется отдельным датчиком. Конструкции датчиков различаются в зависимости от измеряемой составляющей, но принцип работы их одинаков.

На рисунке 25 приведена упрощенная схема измерения D составляющей. На кварцевой рамке (1) растянута кварцевая нить (2) на которой закреплено подвижное зеркало (3), к которому прикреплён измерительный магнит (4). Луч светодиода (5) отражается от подвижного зеркала (3) и попадает на дифференциальный фотоэлемент (6). В исходном состоянии, отраженный от зеркала луч светодиода (5) засвечивает симметрично обе пластины фотоэлементов (6) следовательно, величина входного сигнала на входе усилителя (A) равна нулю. В этом случае не протекает ток через обмотку обратной связи (L1).

В результате изменения переменного магнитного поля Земли, вызванное внешними источниками, на измерительный магнит (4) действует сила, стремящаяся повернуть его по полю. Поворот измерительного магнита (4) и прикрепленного к нему зеркала (3) приводит к нарушению симметричности засветки фотоэлементов (6). Это изменяет величину входного сигнала усилителя (A) в результате через обмотку обратной связи (L1) начинает протекать ток. Расположение обмотки (L1) и направление протекание тока таковы, что происходит компенсация изменения магнитного поля в месте расположения измерительного магнита (4). Другими словами ток, протекающий через обмотку обратной связи (L1), поддерживает поле в месте расположения измерительного магнита (4) постоянным. Величина выходного напряжения ( $V_{out}$ ) пропорциональна величине D составляющей магнитного поля. Сопротивление резистора (R) определяет глубину обратной связи и тем самым задает

чувствительность прибора. Конденсатор (C) предотвращает самовозбуждение системы. Светодиод (5) питается от стабилизированного источника тока (9).

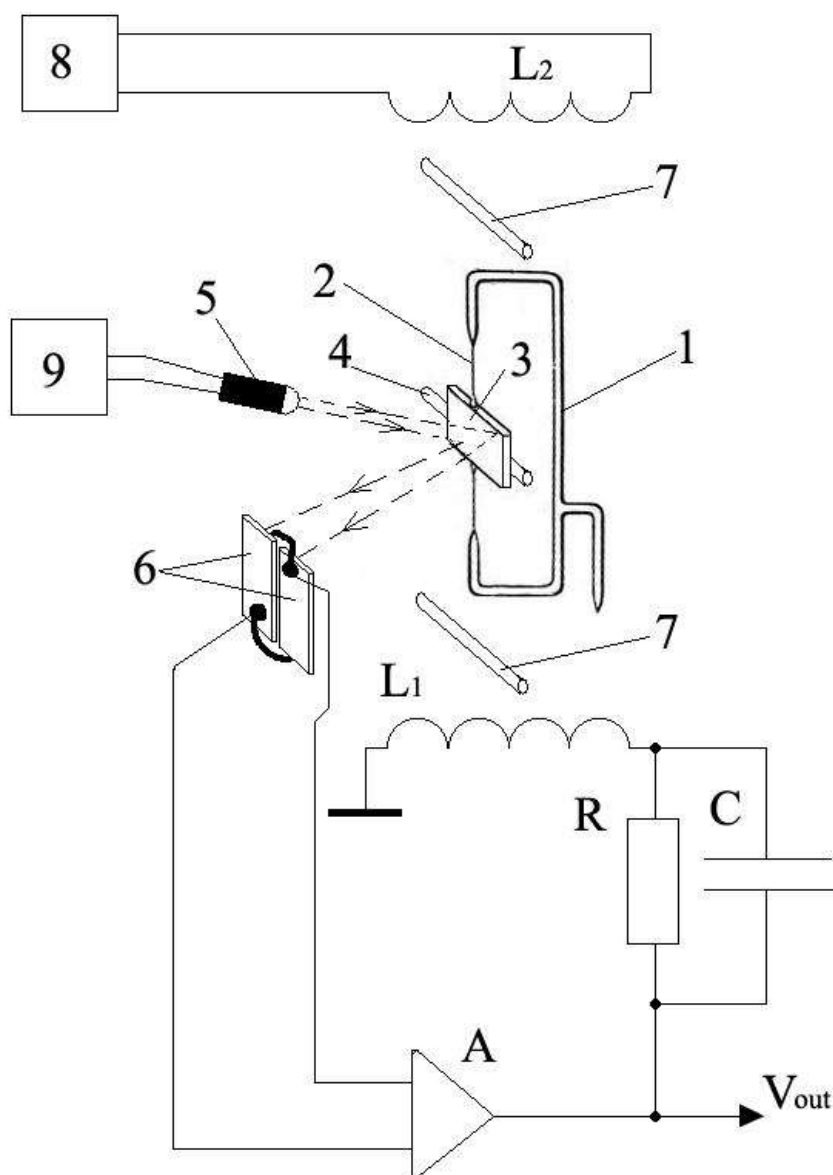


Рисунок 26 - Схема кварцевого магнитометра для измерения склонения геомагнитного поля: 1-кварцевая рамка; 2-кварцевая нить; 3-подвижное зеркало; 4-измерительный магнит; 5-светодиод; 6-дифференциальный фотоэлемент; 7-магниты изменения чувствительности; 8-стабилизатор тока калибровки; 9-стабилизатор тока светодиода; L1-обмотка обратной связи; L2-обмотка калибровки; А-операционный усилитель; R-резистор обратной связи; C-конденсатор обратной связи; V<sub>out</sub>-напряжение пропорциональное изменению D составляющей магнитного поля.

Соответственно с обмоткой обратной связи (L1) намотана обмотка калибровки (L2), ток в которой протекает только в моменты калибровки и задаётся стабилизатором тока калибровки (8). Параллельно измерительному магниту (4) расположены магниты изменения чувствительности (7). Приближая, удаляя и

изменяя ориентацию их относительно измерительного магнита (4) можно в процессе создания прибора изменять его чувствительность. Выходной сигнал ( $V_{out}$ ) через активный фильтр, подавляющий частоты более 1 герца поступает на систему измерения.

Конструктивно кварцевые датчики H, D, и Z объединены в одном корпусе с блоком электроники. В корпусе сделаны специальные окна, которые в рабочем режиме закрыты заглушками. Во время настройки окна открываются, что облегчают правильную установку станции за счет визуального контроля совмещения подвижного и неподвижного зеркал магнитных датчиков. Компенсационные магниты закреплены на штангах, присоединенных к корпусу. Станция устанавливается в горизонтальное положение при помощи винтовых ножек.

#### **Указание мер безопасности.**

В МВС используются датчики, в которых есть тонкая кварцевая нить, поэтому при транспортировке МВС необходимо соблюдать все меры безопасности для перевозки хрупких грузов. Категорически запрещается резкое перемещение и удары, которые могут вызвать повреждение кварцевой системы.

#### **Установка МВС.**

Установку МВС производят на немагнитный постамент в следующем порядке:

1. Отвинчивается верхняя крышка корпуса. Снимаются датчики H и Z (если они поставлены).
2. Снимаются компенсационные магниты (если они поставлены).
3. Открываются заглушки в корпусе для D и H датчиков.



## Датчик D

4. Датчик D не снимают, а если его нет, то его следует поставить таким образом, чтобы окно датчика совпадало с отверстием в корпусе, открывшемся при снятии заглушки для датчика D. Вертикально датчик ориентируют по стрелке на его корпусе. Стрелка должна быть направлена вверх.



Корпус со снятой крышкой и датчиками.

5. МВС ориентируется по магнитному меридиану таким образом, чтобы окно кварцевого датчика, измеряющего геомагнитное склонение D, было направлено на запад. При этом надписи сторон горизонта на корпусе должны совпадать с реальными сторонами горизонта.

6. Станция устанавливается в горизонтальное положение при помощи винтовых ножек по показанию уровней, закрепленных на корпусе.

7. За счет поворота добиваются совмещения подвижного и неподвижного зеркал датчика D.

8. Подсоединяется пульт калибровки.



Пульт калибровки



АЦП E24



Интерфейсный кабель

9. Подсоединяется к пульту калибровки АЦП.
10. АЦП интерфейсным кабелем подключается к компьютеру.
11. Включается компьютер.
12. Подается питающее напряжение на МВС.
13. Запускается программа регистрации данных («PowerGraph»).
14. Точную установку производят при спокойном поле за счет поворота станции сводящего в ноль показания датчика склонения геомагнитного поля, выводимого на компьютер.
15. После этого станция повторно устанавливается в горизонтальное положение при помощи винтовых ножек по показанию уровней, закрепленных на корпусе. Это может вызвать смещение показаний датчика D. Путем последовательных поворотов и установок в горизонтальное положение добиваются показания датчика D близкого к нулю.



**Датчик Н**

16. Устанавливается датчик Н. Его следует поставить таким образом, чтобы окно датчика совпадало с отверстием в корпусе, открывшемся при снятии заглушки для датчика Н. Вертикально датчик ориентируют по стрелке на его корпусе. Стрелка должна быть направлена вверх.
17. Устанавливается компенсационный магнит для датчика Н.
18. За счет горизонтального смещения компенсационного магнита добиваются совмещения подвижного и неподвижного зеркал датчика Н.





## **Датчик Z**

19. Устанавливается датчик Z. Его следует поставить таким образом, чтобы окно датчика было направлено вверх. При этом датчик следует ориентировать по сторонам света в соответствии с надписями на корпусе датчика Z.
20. Устанавливается компенсационный магнит для датчика Z.
21. За счет горизонтального смещения компенсационного магнита добиваются совмещения подвижного и неподвижного зеркал датчика Z.
22. Точную установку датчика H производят при спокойном поле за счет горизонтального смещения компенсационного магнита сводящего в ноль показания датчика склонения геомагнитного поля.
23. Точную установку датчика Z производят при спокойном поле за счет горизонтального смещения компенсационного магнита сводящего в ноль показания датчика склонения геомагнитного поля.
24. Если величина геомагнитного склонения D после установок датчиков H и Z сильно отличается от нулевого, то следует установить штангу с компенсационным магнитом для датчика D и за счет горизонтального смещения компенсационного магнита свести в ноль показания датчика склонения геомагнитного поля.
25. Завершить работу программы «PowerGraph».
26. Закрыть заглушки.
27. Завинтить крышку корпуса.

### **Порядок работы.**

МВС работает в автоматическом режиме. Для этого следует:

1. Произвести установку МВС (если она не сделана).
2. Запустить программу регистрации данных «PowerGraph File Recorder» (описание работы с программой «PowerGraph» приводится в руководстве пользователя по использованию программного обеспечения).
3. Данные будут записываться в файл.

### Калибровка МВС.

1. Произвести установку МВС (если она не сделана).
2. Если датчик тока калибровки не подсоединен к АЦП, то следует его подсоединить.
3. Запустить программу регистрации данных «PowerGraph».
4. Подвести напряжение калибровки к пульту калибровки (разъем Хп).
5. Включить калибровку Н. Для этого перевести переключатель Sp из положения «WORK» в положение «Н».
6. Подождать установления сигнала.



Пульт калибровки

7. Сменить полярность. Для этого перевести переключатель Sp из положения «CAL» в положение «-CAL».
8. Подождать установления сигнала.
9. Произвести в том же порядке калибровку D. Для этого перевести переключатель Sp из положения «Н» в положение «D».
10. Подождать установления сигнала.
11. Сменить полярность. Для этого перевести переключатель Sp из положения «-CAL» в положение «CAL».
12. Подождать установления сигнала.
13. Произвести в том же порядке калибровку Z. Для этого перевести переключатель Sp из положения «D» в положение «Z».

14. Подождать установления сигнала.
15. Сменить полярность. Для этого перевести переключатель Sp из положения «CAL» в положение «-CAL».
16. Подождать установления сигнала.
17. Выключить калибровку. Для этого перевести переключатель Sp из положения «Z» в положение «WORK».

### **Техническое обслуживание.**

С целью обеспечения работоспособности при эксплуатации и хранении для МВС проводят следующие виды технического обслуживания:

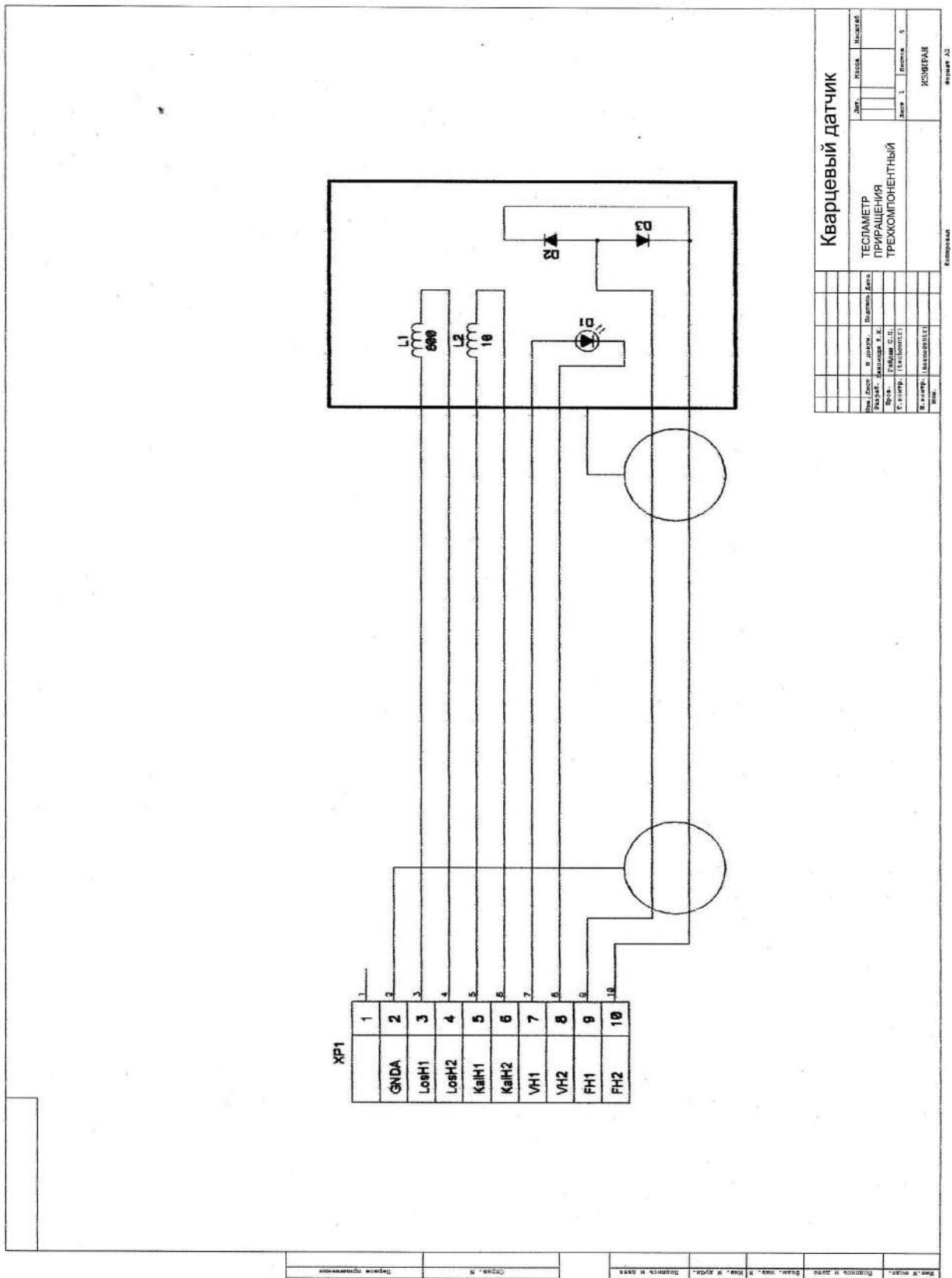
- ежегодное профилактическое обслуживание;
- первичная и периодическая калибровка.

Не допускается вскрытие кварцевых датчиков. В случае неисправности ремонт датчика и электронного блока производится только организацией-изготовителем.

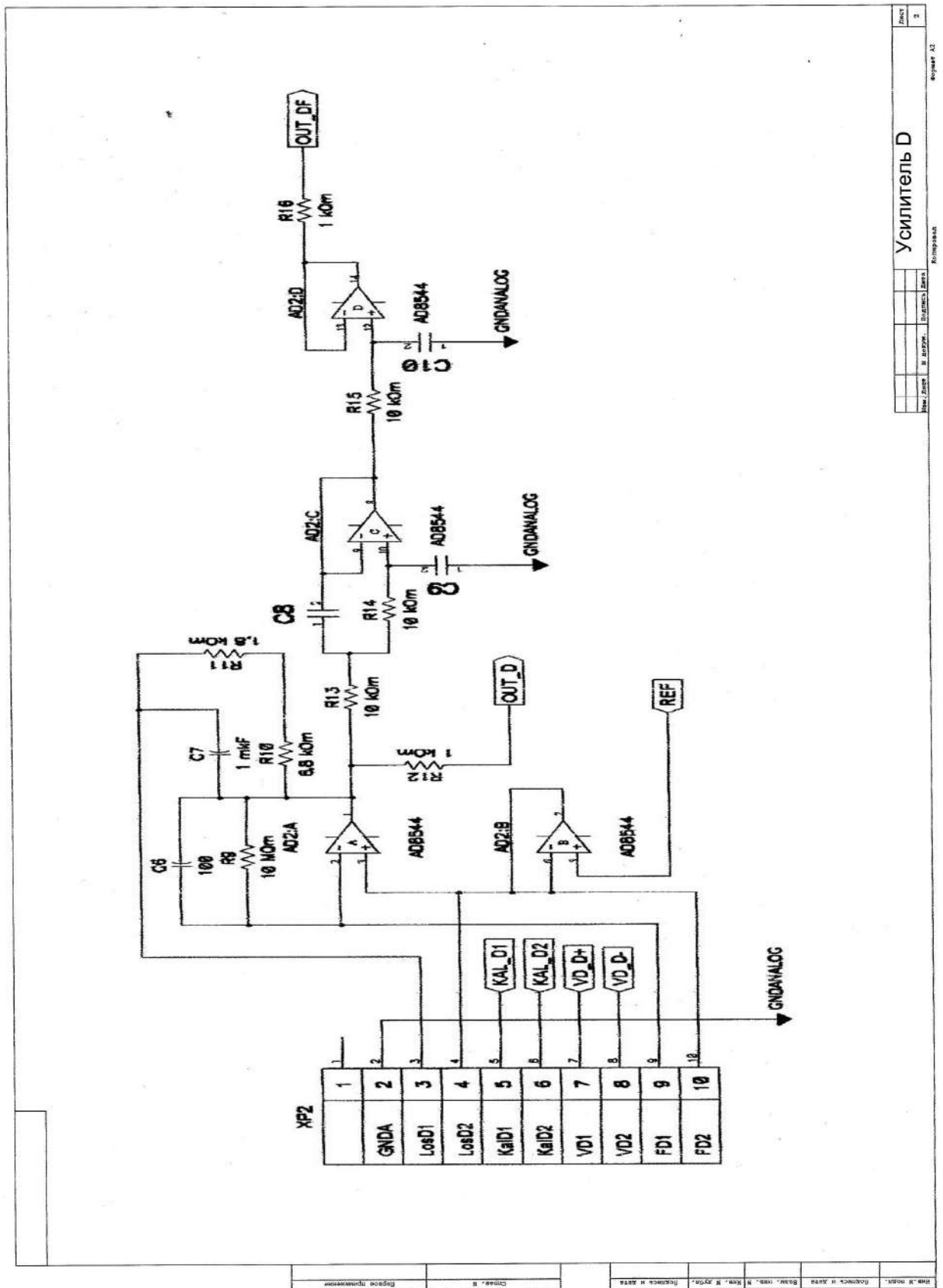
### **Характерные неисправности и методы их устранения.**

Наименование неисправностей, внешнее их проявление и признаки	Вероятная причина	Методы устранения
Отсутствует сигнал со всех датчиков МВС.	Неисправности в источнике питания.	Проверить полярность подключения.
Отсутствует сигнал одного из датчиков ТПП.	Нарушение контакта в соединительном шлейфе.	Проверить исправность разъемов датчиков и печатной платы.
Сигнал датчика вышел за диапазон и невозможно его вывести при помощи подвижного магнита.	Произошло залипание подвижного магнита датчика.	Выключить питание, а после включить его, если это не помогло, то следует слегка постучать по датчику до отлипания подвижного магнита.

### Схема электрическая принципиальная МВС.

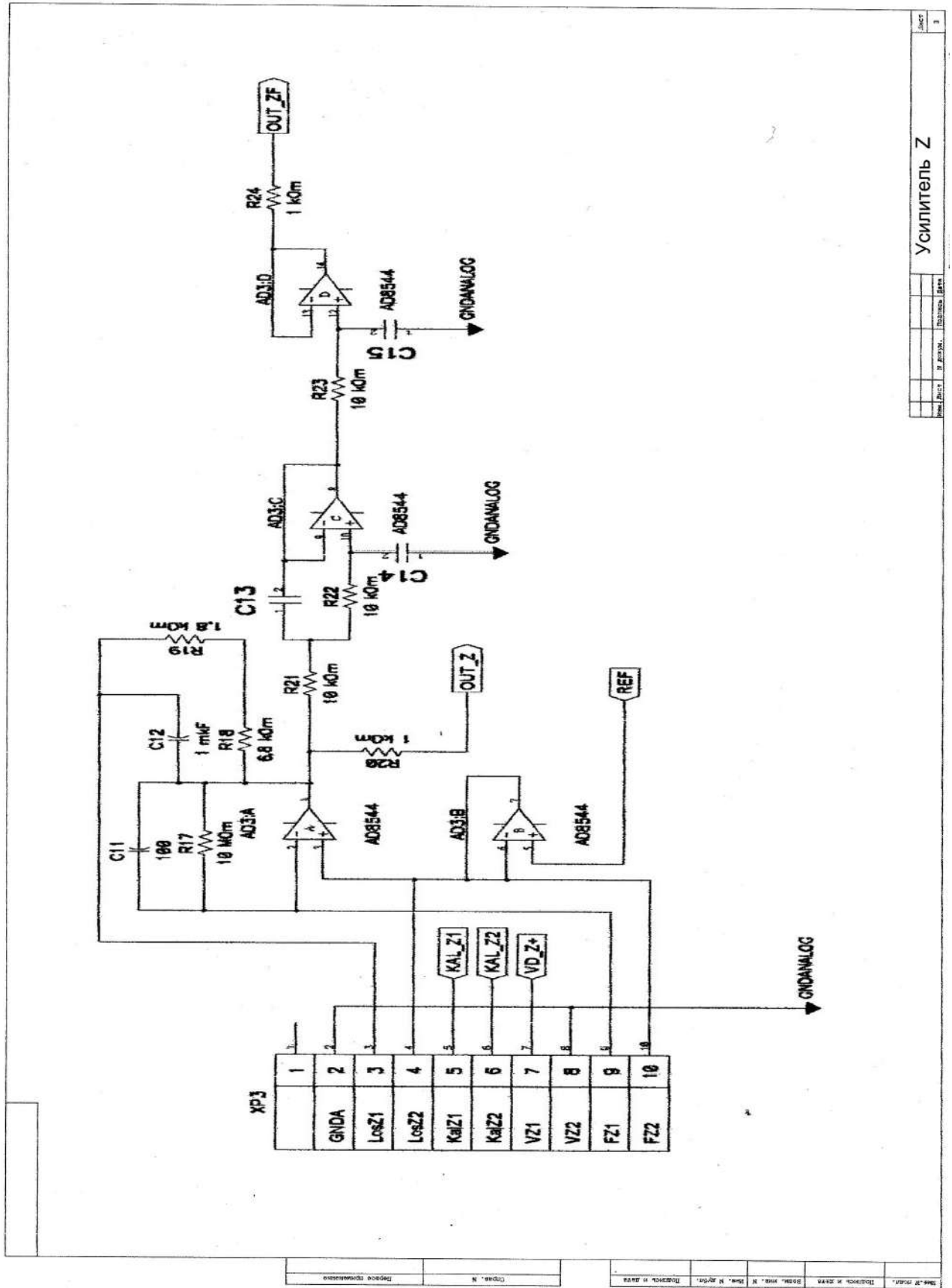






# Усилитель D

Выпуск 1.2



Имя файла	З. И. И. И.	И. И. И. И.	И. И. И. И.
Дата	И. И. И. И.	И. И. И. И.	И. И. И. И.

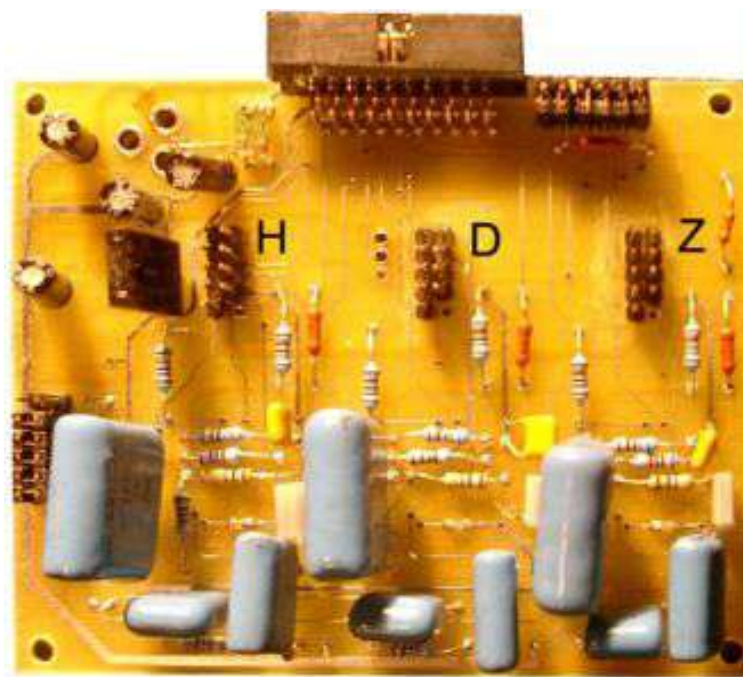
Усилитель Z

[illegible]

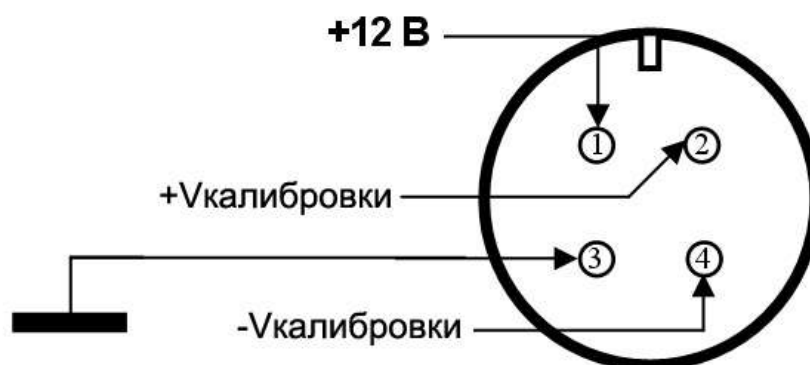




### Расположения элементов на печатной плате.



### Разъем питания и калибровки.



В заключение укажем, что магнитовариационная станция является основным рабочим инструментом УСУ КГФИИС КБГУ, который используется для получения новой информации об электромагнитных предвестниках природных катастроф в УНЧ диапазоне частот.

## **Глава 2 Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями (землетрясениями)**

Землетрясение на Аляске 27 марта 1964 года с магнитудой 9.2 было одним из самых сильных зарегистрированных событий в истории инструментальных сейсмологических наблюдений.

В конце 1964 года Мур впервые сообщил о характерных магнитных сигналах (предвестниках), которые появились за 2 часа до начала землетрясения [Moore, 1964]. Изучение предвестников этого класса было продолжено [Гульельми, 2007; В.А. Моргунов, А.Я. Сидорин, 1996]. Аномальные электромагнитные сигналы, предвещающие сильные землетрясения, наблюдались в широком диапазоне частот [В.Г. Бахмутов и др., 2003; А.В. Гульельми, 2007; В.А. Моргунов, А.Я. Сидорин, 1996]. Основные усилия ученых были сосредоточены на изучении аномальных широкополосных электромагнитных возмущений [М.Б. Гохберг и др., 1979]. Из рассмотрения практически выпали квазигармонические составляющие. Этим можно объяснить тот факт, что на протяжении последних пятидесяти лет УНЧ электромагнитные предвестники периодически обсуждаются, однако полного согласия среди геофизиков относительно возможности их надежного выделения и практического использования до сих пор нет.

В последние годы систематические наблюдения флуктуаций магнитного поля ультранизкой частоты проводятся на Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН, оборудованной современными геофизическими приборами, включая наклономерные и магнитовариационные станции [Л.Е. Собисевич и др., 2008]. Анализ накопленной здесь геофизической информации о наведенных волновых процессах, обусловленных удаленными землетрясениями, позволил подтвердить наличие предвестников электромагнитной природы и выделить наличие аномальных волновых форм УНЧ электромагнитных

возмущений перед сильными телесейсмическими событиями за 2-4 часа до их начала [М.Б. Гохберг, Шалимов, 2008].

Удовлетворительного теоретического объяснения обнаруженному явлению до сих пор нет [Гульельми, 2007]. Причина заключается, по-видимому, в том, что уравнение, описывающее условия возбуждения электромагнитных колебаний содержит целый ряд феноменологических параметров, число которых увеличится при описании физических особенностей геологической среды [А.С. Алексеев и др., 2008; А.В. Гульельми, 2007]. В свою очередь отсутствие достоверного теоретического объяснения не позволяет в полной мере понять картину геофизических процессов на этапе подготовки землетрясения. Поэтому при изучении обнаруженного явления на первое место выходит натурный эксперимент.

Многолетний опыт наблюдений на Северокавказской геофизической обсерватории свидетельствует о том, что выделенный нами экспериментально отдельный класс квазигармонических УНЧ электромагнитных сигналов поддается регистрации современными аппаратными средствами. В подтверждение сказанного обратимся к экспериментальным данным, которые были получены на Северокавказской геофизической обсерватории в 2007 году. Эти результаты представлены в таблице 4. Характеризуя последние, отметим, что уровни зарегистрированных квазигармонических УНЧ возмущений изменяются в пределах от 1 до 5 нТл, что позволяет отчетливо различать их на фоне вариаций электромагнитного поля Земли. Это следует и из рассмотрения амплитудно-временных характеристик, представленных на рисунках 27, 28.

На рисунке 27а приведены записи вариаций геомагнитного поля по трем компонентам (H, D, Z) и изменения наклонов (Север-Юг, Восток-Запад) в период развития и протекания сейсмического события в районе южной Суматры 12 сентября 2007 г., глубина очага – 33 км. Примерно за три часа перед землетрясением на записях магнитных вариометров наблюдаются квазигармонические УНЧ электромагнитные вариации с периодом 150 с (рисунок 27 б). На рисунке 28 а приведены аналогичные записи для другого

сейсмического события в районе о. Тайвань 6 сентября 2007 г., глубина очага – 60 км.

Проанализированные ряды экспериментальных наблюдений на Северокавказской обсерватории за 2007 год, показывают, что из 44 зарегистрированных землетрясений с магнитудой более 5,32 случаях были зафиксированы характерные квазипериодические УНЧ электромагнитные возмущения. В числе отличительных признаков следует отметить отчетливые фазовые и амплитудно-временные особенности в структуре сигналов по H, D, и Z компонентам. Квазигармонические возмущения магнитного поля с периодом от 100 до 40 с и длительностью порядка 10 – 12 мин., выделяются по структуре из общей картины вариаций магнитного поля Земли за 2-4 часа перед сильным сейсмическим событием.

Полученные данные дают основания полагать, что надежная регистрация отмеченного класса геомагнитных возмущений современными магнитными вариометрами возможна перед крупными землетрясениями с магнитудой более 5. Следовательно, работы по затронутой проблеме необходимо продолжать, при этом основные усилия должны быть направлены на создание новых и совершенствование специализированных аппаратурных комплексов.

Таким образом, проведенные экспериментальные наблюдения УНЧ электромагнитных возмущений, регистрируемых на этапе подготовки сильных сейсмических событий, показывают, что уже сегодня эта информация является практически значимой. Так, например, при регистрации УНЧ возмущений в разнесенных пунктах комплексом геофизических приборов, которые включают и специализированную магнитометрическую аппаратуру, возможно определение направления на источник сейсмического возмущения. При этом представляется возможным не только качественно выделить с представительной вероятностью краткосрочный электромагнитный предвестник, но и приблизительно указать район будущей сейсмической катастрофы.

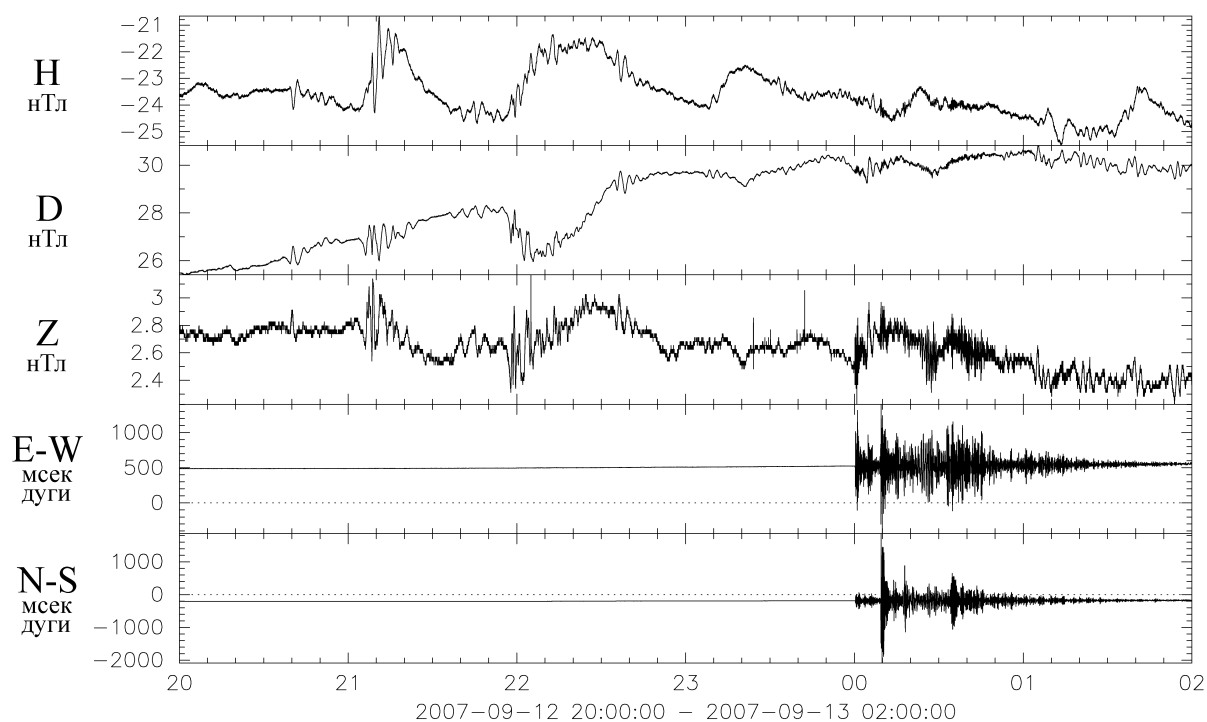


Рисунок 27 а - Землетрясение в районе Южной Суматры 12.09.2007 г. УНЧ электромагнитные возмущения, зарегистрированные магнитными вариометрами и наклономерами лаборатории №1 Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН.

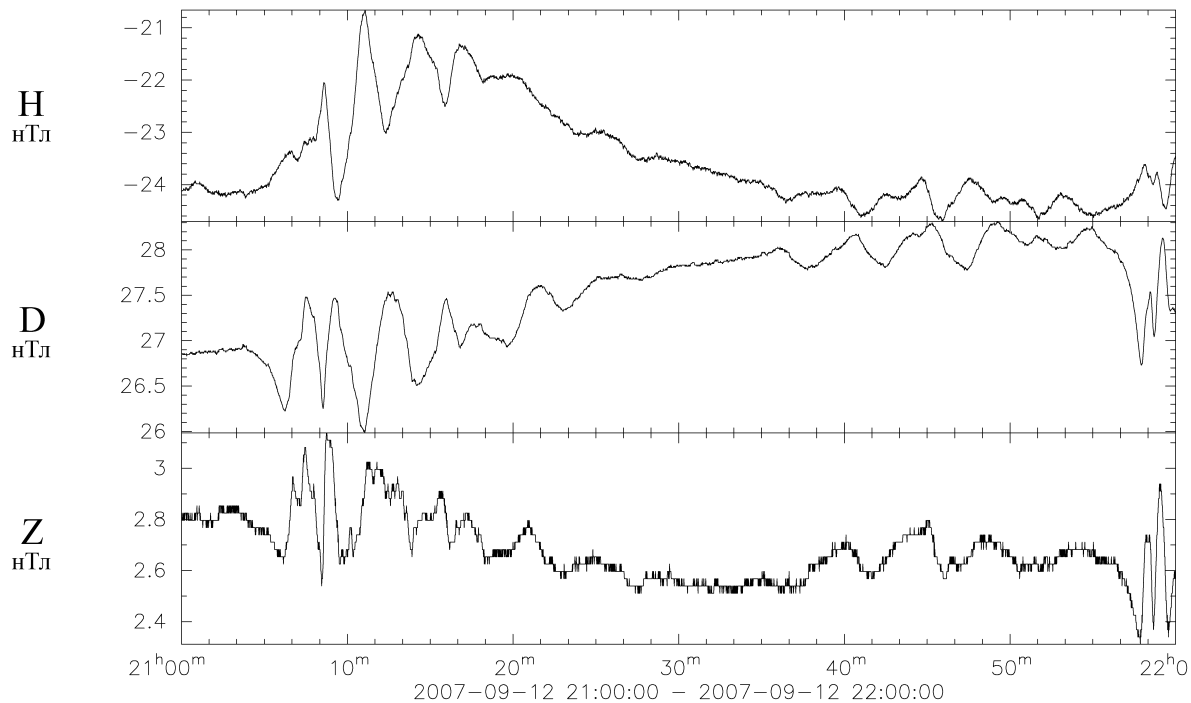


Рисунок 27 б - Структура УНЧ электромагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось, начиная с 21:30 (т.е. за 3 часа) перед землетрясением в районе южной Суматры 12.09.2007 г.

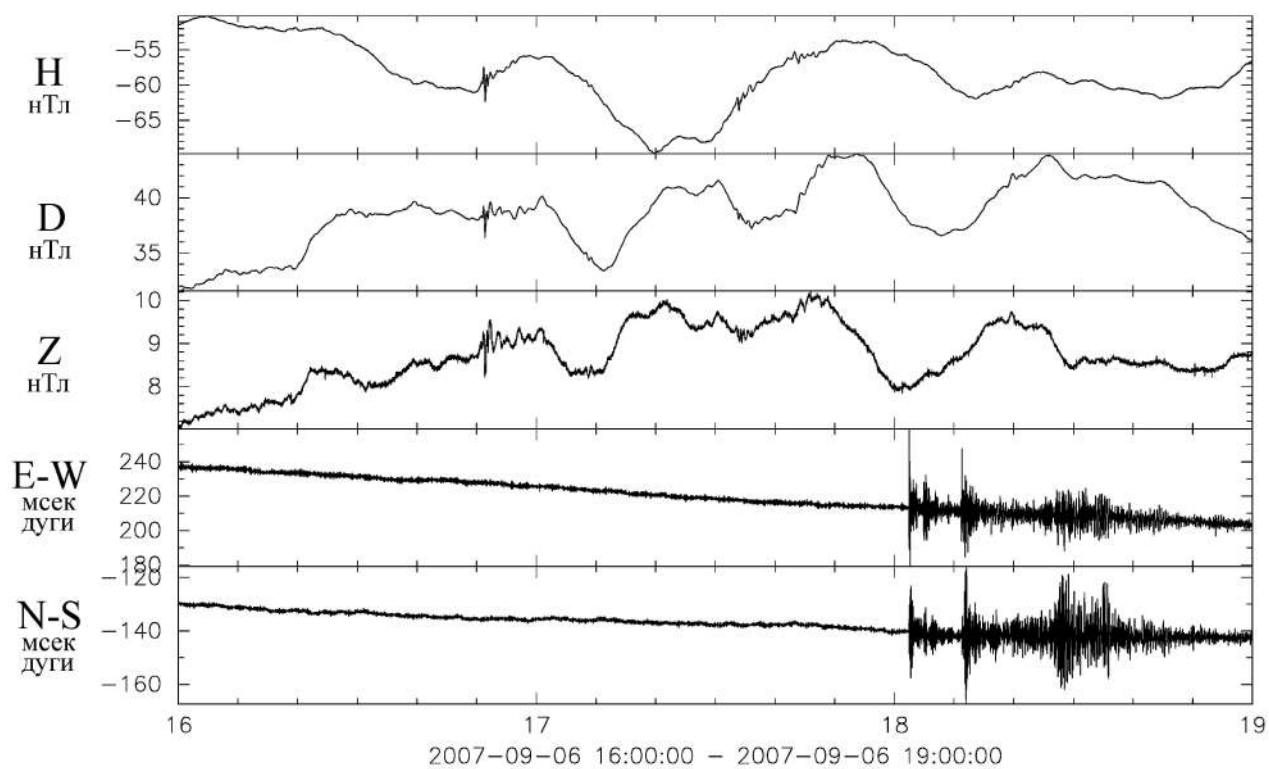


Рисунок 28 а - Вариации УНЧ электромагнитных возмущений перед землетрясением в районе о.Тайвань 6 сентября 2007 г.

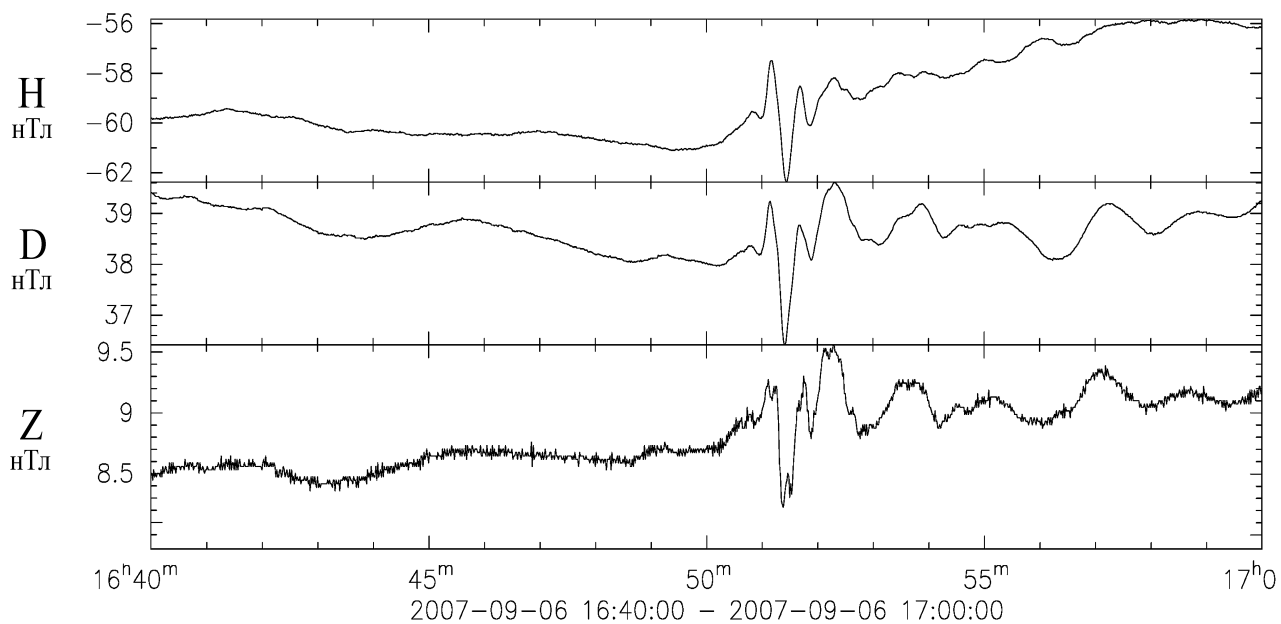


Рисунок 28 б - Структура УНЧ электромагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось перед землетрясением в районе о.Тайвань 6 сентября 2007 г.

Таблица 4 - Список удаленных землетрясений, для которых наблюдались наиболее характерные УНЧ электромагнитные возмущения и абсолютные значения этих возмущений.

Район	Время (UT)	Координаты (градусы)	Магнитуда	Глубина (км)	Период вариаций (сек)	Амплитуда вариаций (нТл)
Калифорнийский залив	01.09.2007 19:14:27	25°22' СШ 109°51' ЗД	5,5	33	75	5
Острова Санта-Крус	02.09.2007 01:05:17	11°25' ЮШ 165°84' ВД	5,3	33	60	2,5
Курильские острова	03.09.2007 16:14:53	45°9' СШ 150°14' ВД	6,1	110	90	3
Район Тайваня	06.09.2007 17:51:25	24°45' СШ 122°45' ВД	6	60	80	5,5
Зап. побережье Колумбии	10.9.2007 01:48:13	3°15' СШ 77°92' ЗД	6,1	33	115	1
Южная Суматра, Индонезия	12.09.2007 23:49:01	2°54' ЮШ 100°85' ВД	7,3	33	150	3,5
Таджикистан	06.11.2007 2:15:42	38°30' СШ 72°98' ВД	5,6	80	150	2
Эгейское море	09.11.2007 01:43:20	38°81' СШ 25°55' ВД	4,9	10	165	1
Район Восточной Новой Гвинеи	22.11.2007 08:48:32	5°74' ЮШ 146°64' ВД	5,7	100	55	1,5
Район Сумбавы Индонезия	25.11.2007 19:53:2	2°07' ЮШ 118°41' ВД	5,6	20	70	1,5
Южнее острова Фиджи	09.12.2007 07:28:24	25°82' ЮШ 177°52' ЗД	7,2	190	40	1
Побережье северного Чили	16.12.2007 08:09:18	22°84' ЮШ 70°2' ЗД	6,5	60	100	2
Турция	26.12.2007 08:09:18	39°52' СШ 33°04' ВД	5,6	10	150	3

В 2009 году аппаратурой УСУ КГФИИС КБГУ было зарегистрировано более 50 сейсмических событий, Практически во всех случаях удалось наблюдать выраженный квазигармонический источник электромагнитного возмущения, который удалось четко выделять на фоне наблюдаемых магнитных вариаций.



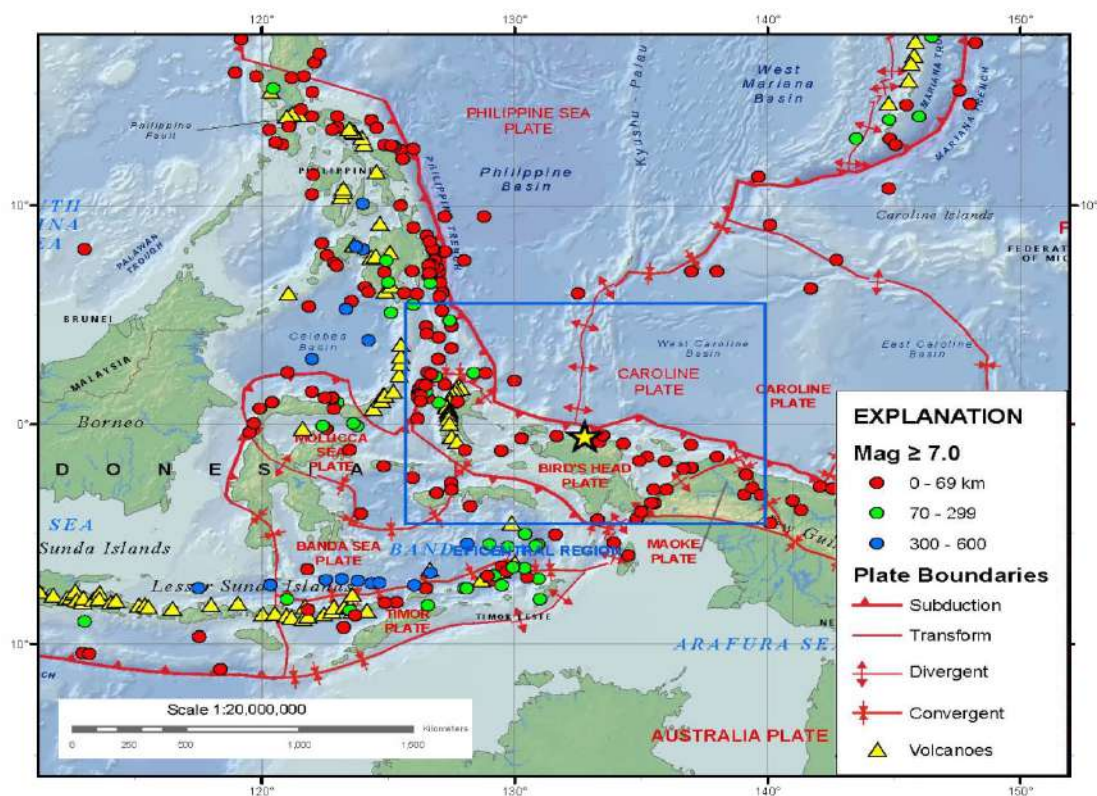
В качестве примера приведем еще сейсмическое событие, которое произошло в районе Папуа Новая Гвинея, Индонезия. Событие было зарегистрировано всеми станциями мировой сети, включая и системы УСУ КГФИИС КБГУ. Все эти результаты приведены ниже с использованием информации по характеристикам сейсмического события, которое дает Сейсмическая служба РАН.

### Новые данные

Район	Время (UT)	Координаты (градусы)	Магнитуда	Глубина (км)	Период вариаций (сек)	Амплитуда вариаций (нТл)
Район Папуа Новая Гвинея, Индонезия	03.01.2009 19:43:53	N = - 0,45 E = 132,75	ms: 7,3/18 mb: 6.4/24	33		

N	COD	TIME	PHASE	DELTA	AZIMUTH	RESIDUAL	MS	MB	NET	SOURCE
1	PMG	19:47:47.5	P	16.88	122	-0.8	-	5.9	PMG	PMG
2	WRAB	19:48:16.9	P	19.43	175	-2.5	-	-	CAN	IRIS-IDA
3	ASAR	19:48:57.1	P	23.11	177	0.0	-	5.8	AUST	AUST
4	KWAJ	19:50:54.7	P	35.93	74	2.1	-	-	KWAJ	KWAJ
5	TJN	19:50:58.6	P	36.98	353	-2.6	-	-	TJN	TJN
6	MJAR	19:51:01.5	P	37.14	7	-1.1	-	-	JMA	JMA
7	MAJO	19:51:04.2	P	37.15	7	1.5	-	-	JMA	JMA
8	KSRS	19:51:08.0	P	37.97	354	-1.6	-	-	USAF	USAF
9	CMAR	19:51:10.6	P	38.17	301	-0.8	-	5.6	BKK	IDC
10	VLA	19:51:56.2	P	43.38	359	2.1	7.2	6.4	OBN	OBN
11	YUK	19:52:14.4	P	45.79	13	0.9	-	-	SKHL	SKHL
12	MSVF	19:52:30.0	P	47.72	114	1.0	-	-	SVA	SVA
13	YSS	19:52:32.3	P	48.03	9	1.2	7.5	6.3	SKHL	OBN
14	HIA	19:52:50.7	P	50.78	349	-1.4	-	-	BJI	OBN
15	ULN	19:53:08.0	P	53.06	339	-1.3	-	-	OBN	OBN
16	SONM	19:53:10.3	P	53.28	338	-0.6	-	-	OBN	OBN
17	PETK	19:53:37.3	P	57.29	18	-2.6	-	-	IDC	IDC
18	TLY	19:53:43.9	P	57.45	339	2.9	7.2	6.3	BYKL	OBN
19	PET	19:53:40.1	P	57.50	18	-1.2	7.3	7.0	KRSC	OBN
20	DGAR	19:54:00.8	P	60.50	262	-2.0	-	-	DGAR	IRIS-IDA
21	YAK	19:54:12.0	P	62.34	358	-2.4	7.4	6.3	YARS	OBN
22	MK31	19:54:26.9	P	64.42	324	-1.4	-	7.6	NNC	NNC
23	SEY	19:54:30.9	P	64.92	10	-0.3	-	-	NERS	NERS
24	AAA	19:54:41.5	P	66.09	319	2.4	-	-	KAZK	KAZK

25	KZA	19:54:44.4	P	66.75	317	1.0	-	-	KYRG	KYRG
26	TKM2	19:54:43.5	P	66.85	318	-0.5	-	-	KYRG	KYRG
27	ZALV	19:54:42.6	P	67.06	332	-2.4	-	-	IDC	IDC
28	KBK	19:54:45.8	P	67.18	317	-0.3	-	-	KYRG	KYRG
29	UCH	19:54:49.4	P	67.31	317	2.4	-	-	KYRG	KYRG
30	CHMS	19:54:47.3	P	67.45	318	-0.4	-	-	KYRG	KYRG
31	AAK	19:54:47.1	P	67.48	317	-0.9	7.6	-	KYRG	OBN
32	USP	19:54:48.8	P	67.72	318	-0.6	-	-	KYRG	KYRG
33	AML	19:54:51.0	P	67.83	316	0.7	-	-	KYRG	KYRG
34	EKS2	19:54:50.9	P	67.98	317	-0.2	-	-	KYRG	KYRG
35	KURK	19:54:51.9	P	68.50	326	-2.2	7.3	6.0	NNC	NNC
36	KK31	19:55:05.2	P	70.38	317	-0.6	-	7.5	NNC	NNC
37	KIP	19:55:07.3	P	70.88	67	-1.9	-	-	HON	OBN
38	BILL	19:55:17.5	P	72.22	13	1.2	7.4	5.5	NERS	OBN
39	VOSK	19:55:25.5	P	73.65	326	0.5	-	-	NNC	NNC
40	BRVK	19:55:27.0	P	74.17	326	-1.0	7.2	6.2	NNC	OBN
41	ZRNK	19:55:31.2	P	74.84	326	-0.8	-	-	NNC	NNC
42	AB31	19:55:54.4	P	79.18	320	-1.9	-	7.0	NNC	NNC
43	ARU	19:56:07.4	P	81.67	327	-2.0	7.3	6.3	OBN	OBN
44	KDAK	19:56:14.6	P	82.24	31	2.4	-	-	GIA	GIA
45	COLA	19:56:29.7	P	85.90	25	-0.9	-	-	NEIC	OBN
46	ILAR	19:56:29.9	P	86.29	25	-2.6	-	-	USAF	USAF
47	MAK	19:56:37.9	P	86.81	313	2.4	-	7.3	OBN	MAK
48	GNI	19:56:48.3	P	88.77	310	3.3	7.2	6.0	NSSP	OBN
49	KIV	19:56:55.3	P	90.36	314	2.9	7.1	5.9	OBN	OBN
50	LVZ	19:57:09.1	P	93.47	338	2.9	7.3	6.2	OBN	OBN
51	OBN	19:57:09.3	P	93.91	325	0.9	7.4	-	OBN	OBN
52	ANN	19:57:08.8	P	94.10	315	-0.7	-	6.0	OBN	ANN
53	KMBO	19:57:17.1	P	95.49	269	0.4	-	6.8	NAI	IDC
54	ARCES	19:57:19.8	P	96.40	340	0.3	-	6.1	NAO	NAO
55	PUL	19:57:23.1	P	96.64	330	2.4	7.3	6.6	OBN	OBN
56	BRTR	19:57:24.6	P	97.30	310	0.3	-	-	ISK	IDC
57	VSU	19:57:30.0	P	98.72	329	-0.2	7.5	6.5	VSU	VSU
58	KIEV	19:57:31.6	P	98.91	321	0.4	-	-	KIEV	KIEV
59	KIS	19:57:38.0	P	99.81	318	2.5	6.6	-	MOLD	MOLD
60	ISP	19:57:35.0	P	99.93	308	-1.3	7.0	-	ISK	ISK
61	SNAA	19:57:47.9	P	102.63	193	0.3	-	-	AWIB	AWIB
62	UZH	19:57:54.0	P	103.74	320	1.0	-	-	LVV	UZH
63	NNA	20:03:37.2	PKIKP	148.13	114	3.8	-	-	LIM	LIM



[<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqarchives/poster/index.php>]

Рисунок 29 - Тектоническая обстановка в регионе.

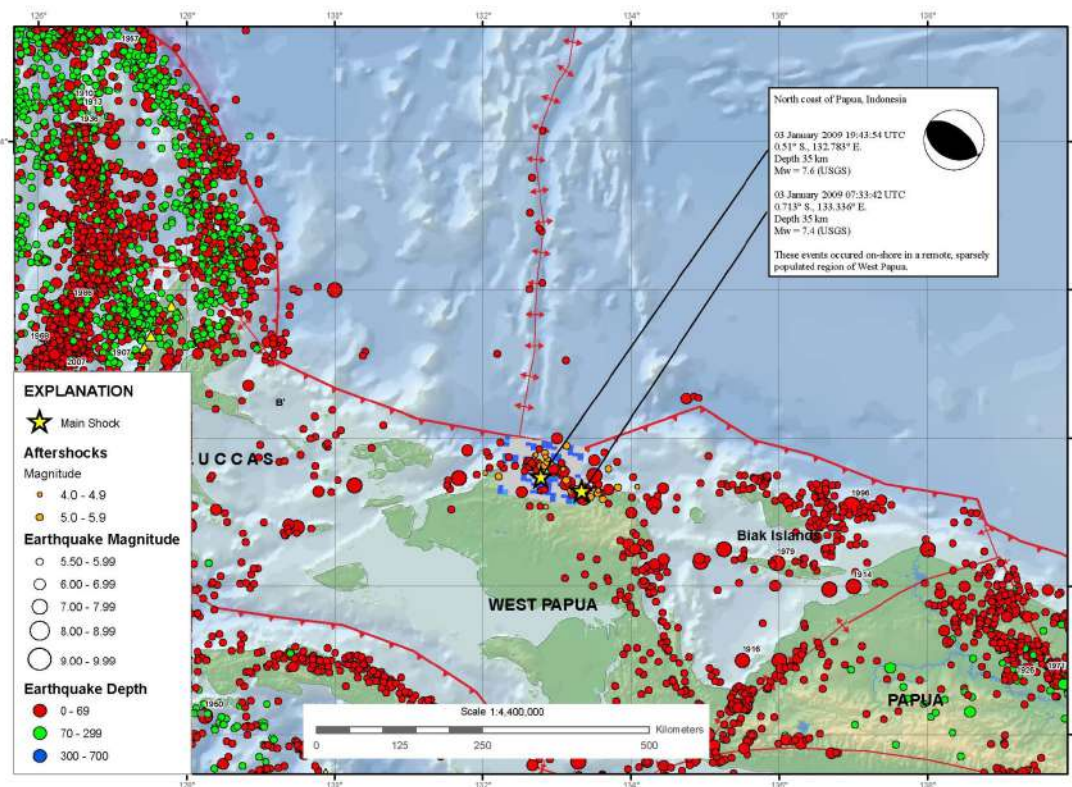


Рисунок 30 - Карта сейсмических событий в регионе.

Восточная Индонезия является регионом со сложными межплитными взаимодействиями. Вообще говоря, восточная Индонезия состоит из нескольких микроплит, относительные движения, которых поглощают схождение Тихоокеанской, Австралийской и Евразийской плит. Эти геологические структуры обуславливают сложную сейсмическую обстановку в регионе и являются ответственными за подготовку крупных землетрясений.

Два последовательных сейсмических события с магнитудами 7.6 и 7.4 соответственно, произошли в районе Папуа, Индонезия 03 января 2009 г. в 19:43 и 22:33 по всемирному времени в результате подвижки на границе плит вдоль северо-западного побережья острова Новая Гвинея. Тихоокеанская плита (расположенная к северу и северо-востоку от эпицентра) движется на юго-запад по отношению к Австралийской плите (расположенной к югу от эпицентра) со скоростью примерно 112 мм в год в эпицентре землетрясения и фокальный механизм этого землетрясения в основном определялся погружением литосферы Тихоокеанской плиты под литосферу Австралийской плиты. Зона субдукции расположенная вдоль северо-западного побережья острова Новая Гвинея является глубинным океаническим желобом, the New Guinea Trench, однако регистрация гипоцентров местных землетрясений не обнаруживает incident seismic zone (Wadati-Benioff zone) уходящей вглубь на юг-юго-запад от trench.

Землетрясение 03 января 2009 г. в 22:33 по всемирному времени имело тот же фокальный механизм, что и предшествующее событие, а его эпицентр был расположен на расстоянии 70 км к востоку от первого землетрясения. Наиболее вероятно, что второе событие было спровоцировано первым.  
[<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqarchives/poster/index.php>]

#### **USGS Body-Wave Moment Tensor Solution**

09/01/03 19:43:56.07, NEAR N COAST OF PAPUA, INDONESIA

Epicenter: -0.581 132.538 MW 7.4

#### **USGS MOMENT TENSOR SOLUTION**

Depth 37 No. of sta: 72

Moment Tensor; Scale 10\*\*20 Nm

Mrr= 1.07 Mtt=-1.16

Mpp= 0.09 Mrt=-0.47

Mrp= 0.38 Mtp= 0.70

Principal axes:



T Val= 1.23 Plg=73 Azm=246  
 N 0.38 10 117  
 P -1.60 12 25

Best Double Couple: Mo=1.4\*10\*\*20  
 NP1: Strike=304 Dip=58 Slip= 102  
 NP2: 102 34 71

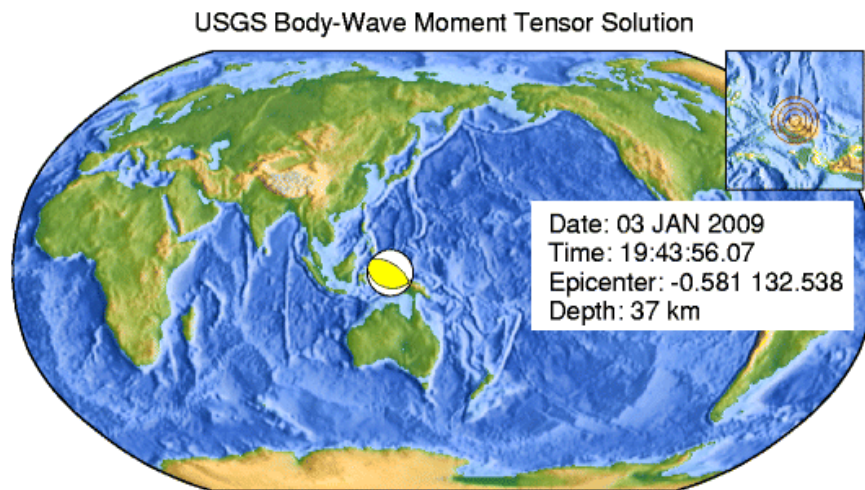


Рисунок 31

## Finite Fault Model

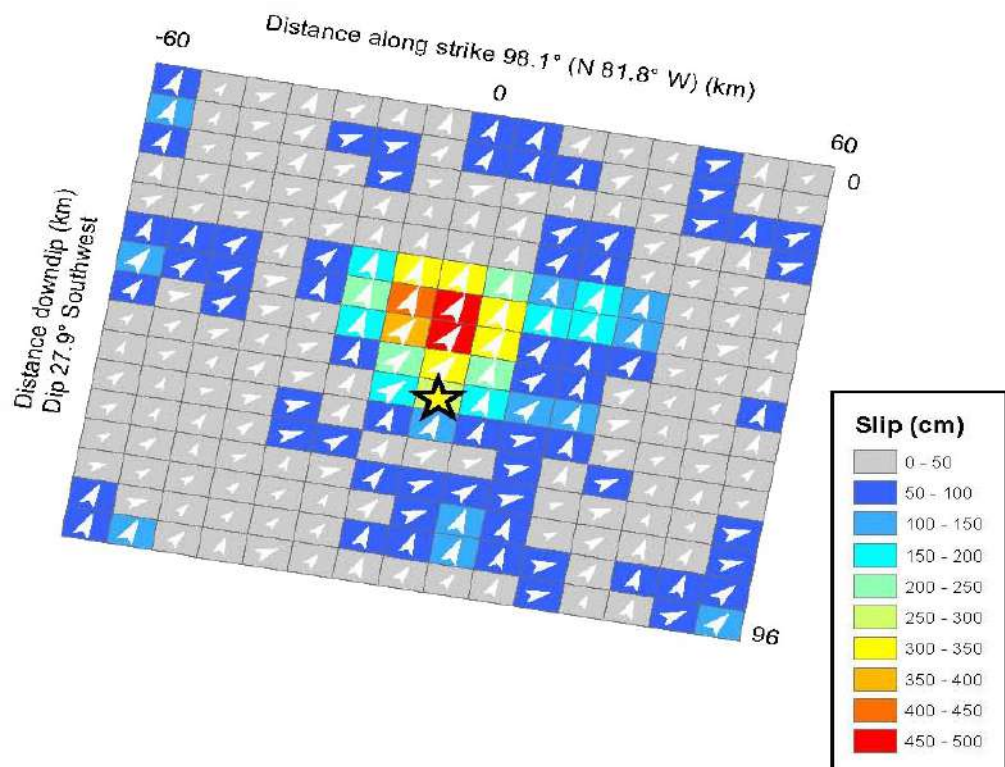


Рисунок 32 - Модель разрывного нарушения (Finite Fault Model).

Здесь представлены распределение амплитуды и направления проскальзывания для конечно-элементной модели разлома (элементы разлома – небольшие прямоугольники) по результатам инверсии объёмных волн, зарегистрированных на удалённых сейсмостанциях.

Стрелки показывают амплитуду и направление движения (on the hanging wall with respect to the foot wall), амплитуда смещения показана цветом, вид сверху на плоскость разрыва.

The strike of the fault rupture plane is  $N98.1^{\circ}E$  and the dip is  $27.9^{\circ}SW$ . Размеры конечных элементов составляют 8 км по направлению strike и 6 км по направлению dip. The seismic moment released based on the plane is  $3.39E+027$  дин\*см. [<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqarchives/poster/index.php>]

Расшифровка записей УСУ КГФИИС КБГУ, приводимая ниже, показала наличие крайне низкочастотных электромагнитных возмущений, предваряющих это сейсмическое событие за четыре часа до его начала.

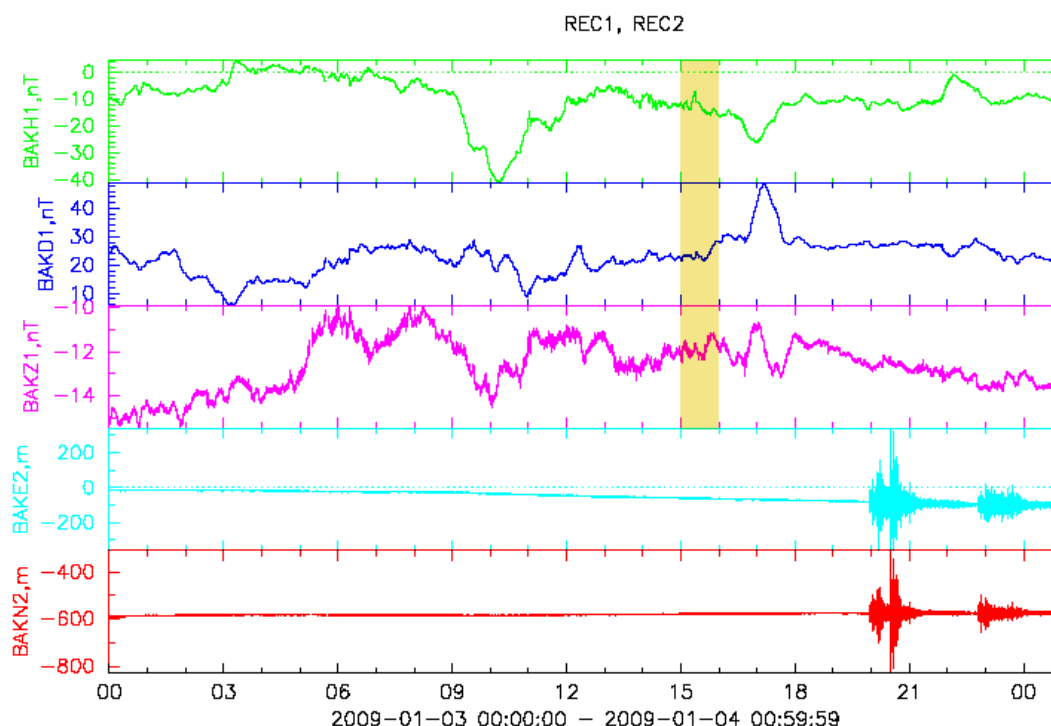


Рисунок 33 - Рисунок отображает запись данных с трехкомпонентного магнитного вариометра и наклономерной станции (С-Ю и В-З). Баксанская геофизическая обсерватория.

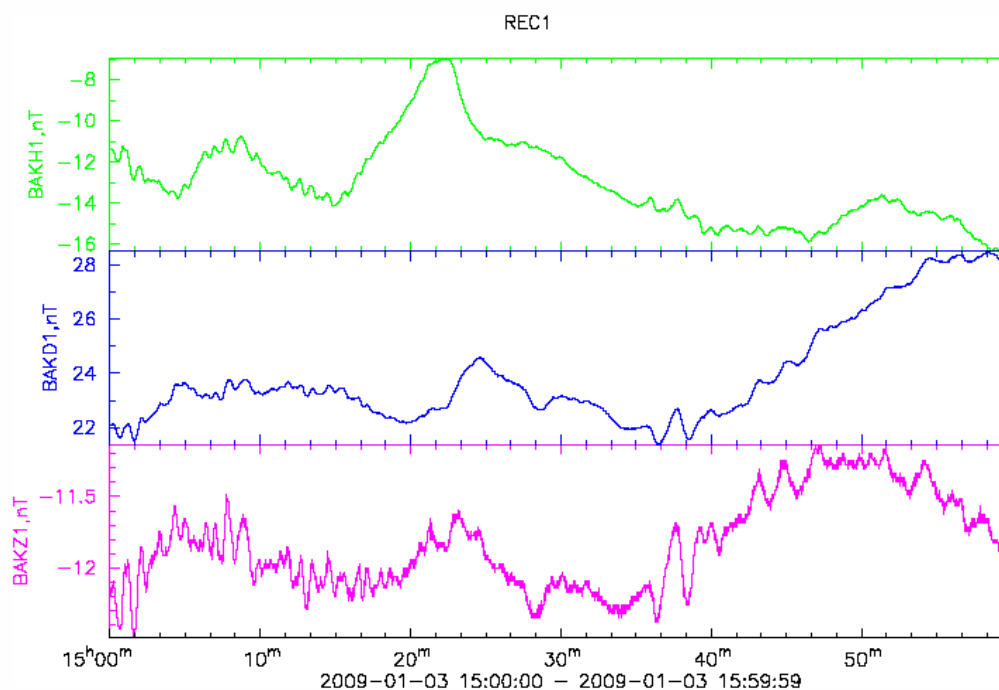


Рисунок 34 - Волновые формы магнитного возмущения за 4 часа до сейсмического события.

### Принятые обозначения:

BAKH1 - показания H компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, nT, BAKD1 - показания D компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, nT, BAKZ1 - показания Z компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, nT, BAKE2 - показания накломера E-W на 15 пикете Баксан, ms, BAKN2 - показания накломера N-S на 15 пикете Баксан, ms.

Приведенный пример указывает на то, что направление выбранное авторами настоящей НИР является весьма перспективным.

В подтверждение сказанного приведем пример записи землетрясения, которое произошло на острове Ява (Индонезия) 02-Сен-2009 07:55:00.0.

Ява, Индонезия

Параметры землетрясения

date= 02-Сен-2009 07:55:00.0 lat= -7.76 lon= 107.53

depth= 60km ms: 7/27 mb: 7.1/33

рассчитаны по станциям:

N	COD	TIME	PHASE	DELTA	AZIMUTH	RESIDUAL	MS	MB	NET	SOURCE
1	CMAR	08:00:40.6	P	27.39	342	-1.4	-	6.2	BKK	IDC
2	WRAB	08:00:54.7	P	28.66	118	1.2	7.2	7.4	CAN	IRIS-IDA
3	DGAR	08:01:48.1	P	34.76	268	1.1	-	-	DGAR	IRIS-IDA
4	PMG	08:02:25.8	P	39.20	95	1.5	6.7	7.1	PMG	PMG
5	TJN	08:03:33.0	P	47.69	22	0.3	-	-	TJN	TJN
6	MSEY	08:04:06.9	P	51.81	270	2.4	-	-	MSEY	MSEY
7	VLA	08:04:29.2	P	55.27	22	-0.5	6.6	6.8	OBN	OBN
8	ULN	08:04:30.5	P	55.38	360	0.1	7.2	7.2	OBN	OBN
9	ULHL	08:04:46.4	P	57.38	333	1.6	-	-	KYRG	KYRG
10	KZA	08:04:48.7	P	57.71	332	1.5	-	-	KYRG	KYRG
11	HIA	08:04:46.2	P	57.78	9	-1.2	7.0	6.9	BJI	OBN
12	AAA	08:04:47.0	P	57.85	334	-1.0	-	7.1	KAZK	KAZK
13	UCH	08:04:51.2	P	58.17	332	0.8	-	-	KYRG	KYRG
14	TKM2	08:04:49.6	P	58.21	333	-1.0	-	-	KYRG	KYRG
15	KBK	08:04:52.4	P	58.30	332	1.2	-	-	KYRG	KYRG
16	AML	08:04:52.8	P	58.49	331	0.2	-	-	KYRG	KYRG
17	AAK	08:04:51.9	P	58.50	332	-0.7	7.5	-	KYRG	OBN
18	CHMS	08:04:54.7	P	58.66	332	1.1	-	-	KYRG	KYRG
19	MK31	08:04:52.5	P	58.77	340	-1.9	-	-	NNC	NNC
20	EKS2	08:04:55.4	P	58.85	331	0.4	-	-	KYRG	KYRG
21	USP	08:04:56.2	P	58.98	332	0.3	-	-	KYRG	KYRG
22	ERM	08:04:57.1	P	59.28	30	0.2	6.7	6.6	HSS	IRIS-IDA
23	TLY	08:04:58.1	P	59.29	357	1.3	7.1	6.7	BYKL	OBN
24	HVS	08:05:00.9	P	59.86	350	2.3	7.9	-	ASRS	ASRS
25	KK31	08:05:06.3	P	60.77	330	-1.0	-	-	NNC	NNC
26	KWAJ	08:05:19.3	P	62.09	76	1.8	-	-	KWAJ	KWAJ
27	YUK	08:05:17.3	P	62.10	30	0.2	-	-	SKHL	SKHL
28	YSS	08:05:21.1	P	62.83	26	-0.8	6.1	7.7	SKHL	OBN
29	ZALV	08:05:30.1	P	64.39	345	-1.9	-	-	IDC	IDC
30	VOSK	08:05:52.8	P	67.80	337	-0.9	-	-	NNC	NNC
31	BRVK	08:05:56.2	P	68.33	337	-0.8	7.1	7.4	NNC	OBN
32	MSVF	08:06:04.8	P	69.18	106	2.0	7.1	7.1	SVA	SVA
33	KMBO	08:06:10.6	P	70.30	272	0.7	-	-	NAI	IDC
34	AB31	08:06:09.3	P	70.33	329	0.0	-	-	NNC	NNC
35	YAK	08:06:16.2	P	71.66	11	-0.8	6.9	7.9	YARS	OBN
36	MAK	08:06:32.5	P	74.19	319	0.2	-	7.1	OBN	MAK
37	PET	08:06:33.3	P	74.40	29	0.1	6.9	7.3	KRSC	OBN
38	GNI	08:06:36.8	P	74.83	315	0.7	6.9	6.9	NSSP	OBN
39	ARU	08:06:40.0	P	75.52	334	0.4	6.9	7.6	OBN	OBN
40	KIV	08:06:53.2	P	77.79	318	0.5	6.7	7.3	OBN	OBN
41	SEY	08:06:55.8	P	78.34	19	0.6	-	-	NERS	NERS



42	SOC	08:07:02.6	P	79.60	317	0.1	-	6.9	OBN	SOC
43	TIXI	08:07:06.0	P	80.49	7	-0.7	-	7.4	YARS	OBN
44	ANN	08:07:13.0	P	81.60	317	-0.1	-	6.9	OBN	ANN
45	BRTR	08:07:19.5	P	82.72	312	0.5	-	-	ISK	IDC
46	VSR	08:07:19.4	P	82.78	324	0.4	6.8	8.0	OBN	OBN
47	SIM	08:07:25.9	P	83.89	317	1.2	-	7.1	KRYM	KRYM
48	ISP	08:07:28.5	P	84.57	309	0.1	7.2	6.6	ISK	ISK
49	MOS	08:07:32.5	P	85.30	328	1.0	-	7.4	OBN	MOS
50	OBN	08:07:34.0	P	85.64	327	0.7	6.9	7.3	OBN	OBN
51	APE	08:07:47.4	P	88.29	308	0.9	6.9	7.0	ATH	ATH
52	AKASG	08:07:47.7	P	88.61	321	0.0	-	-	UNDC	IDC
53	PUL	08:07:56.5	P	90.26	330	1.2	7.1	7.1	OBN	OBN
54	LVZ	08:07:57.4	P	90.78	339	-0.2	7.4	7.0	OBN	OBN
55	VSU	08:08:02.9	P	91.76	329	0.6	7.7	7.6	VSU	VSU
56	FINES	08:08:07.0	P	92.68	332	0.6	-	-	HEL	IDC
57	KIP	08:08:29.8	P	96.92	69	3.2	6.5	6.5	HON	OBN
58	KHC	08:08:33.4	P	98.39	319	0.7	7.5	6.8	PRU	PRU
59	KBS	08:08:33.3	P	98.64	349	0.1	7.0	6.9	BER	0 BER

Характеризуя этот результат, отметим, что зафиксированное сейсмическое событие было нами предсказано уже в процессе эксперимента. Авторы отчета вели настройку акустического и электрометрического каналов и обратили внимание на то, что по каналам магнитного вариометра было зафиксировано магнитное возмущение в УНЧ диапазоне. Как и следовало ожидать, через 6 часов за этим возмущением последовали два землетрясения в районе о. Ява.

Другим ярким событием в наших экспериментах явилась запись сейсмического процесса в районе Японии.

Район Хаккайдо, Япония

Параметры землетрясения

date= 05-Июн-2009 03:30:32.4 lat= 41.89 lon= 143.52

depth= 40km ms: 6.4/29 mb: 5.9/30

рассчитаны по станциям:

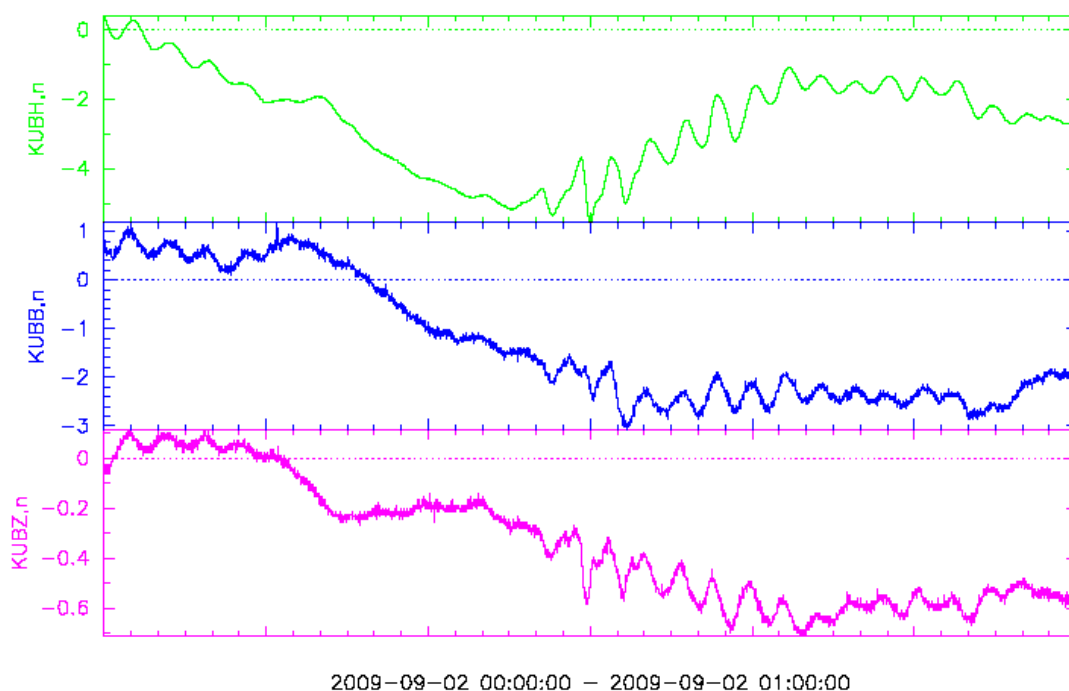
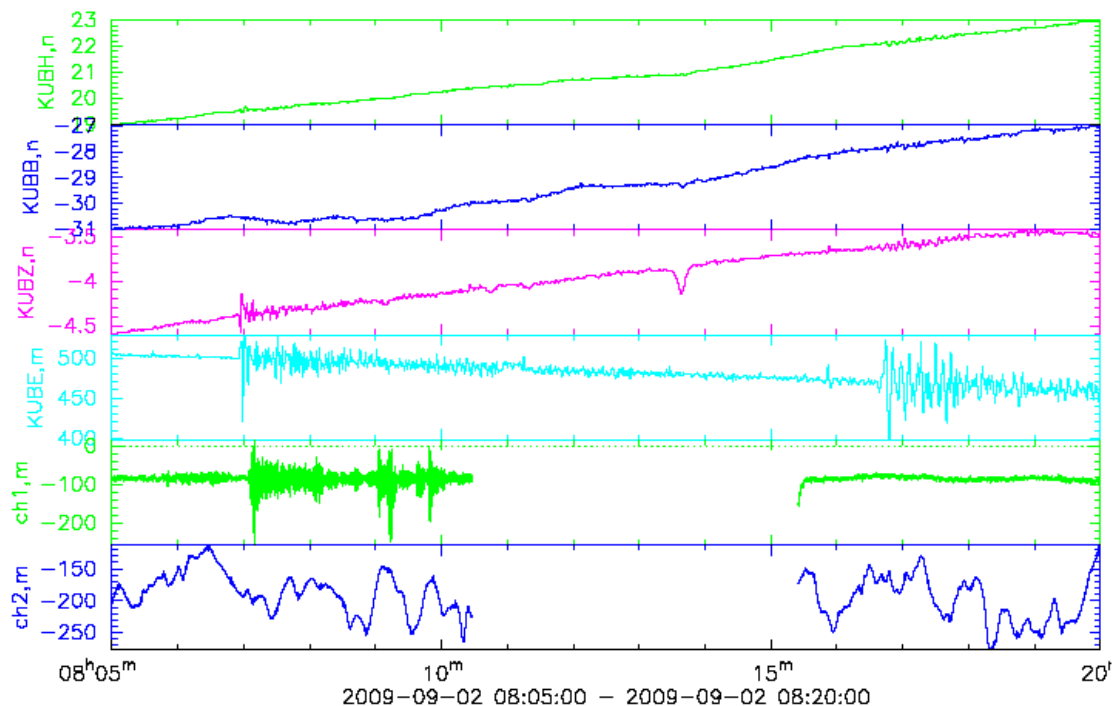
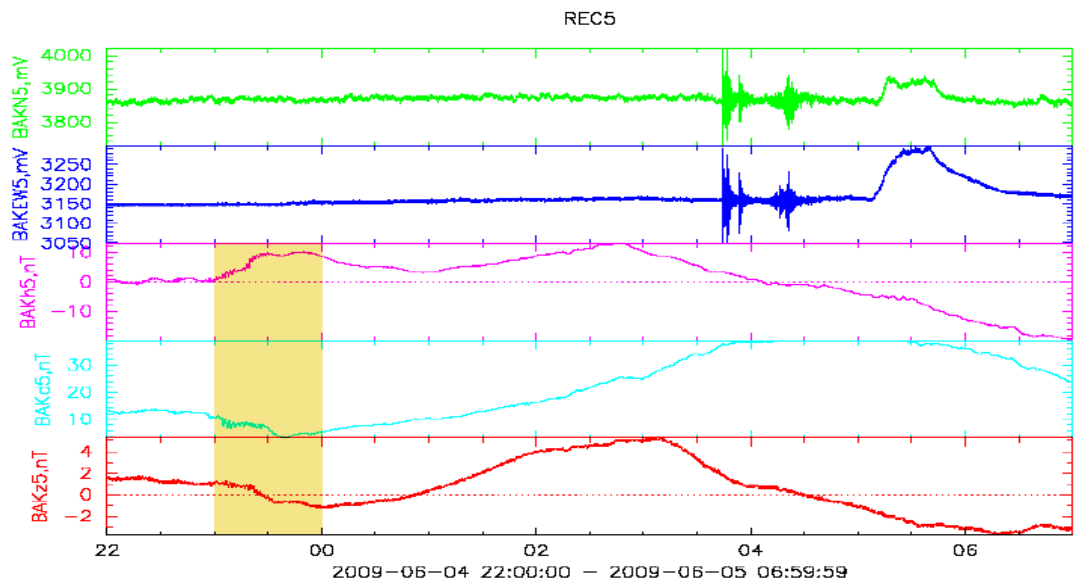


Рисунок 35 - Псевдоволновые формы магнитного возмущения, зарегистрированные перед сейсмическим событием. Следует обратить внимание четкую структуру формы магнитного возмущения, которое предвариало сейсмические события.

N	COD	TIME	PHASE	DELTA	AZIMUTH	RESIDUAL	MS	MB	NET	SOURCE
1	ERM	03:30:42.3	P	0.30	295	0.2	-	-	HSS	IRIS-IDA
2	YUK	03:31:15.5	P	2.73	38	0.6	-	-	SKHL	SKHL
3	KUR	03:31:42.0	P	4.60	42	0.7	5.7	-	SKHL	SKHL
4	YSS	03:31:49.0	P	5.10	354	0.6	6.8	-	SKHL	OBN
5	MAJO	03:32:09.8	P	6.75	219	-1.7	-	-	JMA	JMA
6	PET	03:34:03.2	P	15.08	37	-1.0	6.3	-	KRSC	OBN
7	SEY	03:35:18.8	P	21.72	11	-2.8	-	-	NERS	NERS
8	YAK	03:35:19.0	P	21.78	342	-3.3	6.3	6.6	YARS	OBN
9	ULN	03:36:06.7	P	26.34	296	0.3	6.7	6.1	OBN	OBN
10	TLY	03:36:28.1	P	28.65	304	0.9	-	6.7	BYKL	OBN
11	BILL	03:36:26.0	P	28.97	18	-3.9	6.0	5.2	NERS	OBN
12	TIXI	03:36:41.6	P	30.71	351	-3.7	6.5	5.3	YARS	OBN
13	KRAR	03:37:25.5	P	35.28	311	0.4	6.4	6.7	ASRS	ASRS
14	ZALV	03:38:05.4	P	40.02	308	0.7	-	-	IDC	IDC
15	KDAK	03:38:25.2	P	42.46	45	0.4	-	-	GIA	GIA
16	MK31	03:38:30.0	P	43.09	298	-0.1	-	-	NNC	NNC
17	MKAR	03:38:30.6	P	43.29	298	-1.1	-	5.4	NNC	IDC
18	COLA	03:38:38.8	P	44.13	35	0.5	6.1	6.3	NEIC	OBN
19	KURK	03:38:40.7	P	44.37	305	0.4	6.6	5.9	NNC	NNC
20	CMAR	03:38:41.5	P	44.42	252	0.3	-	4.6	BKK	IDC
21	BRVK	03:39:14.7	P	48.67	310	0.5	6.8	5.5	NNC	OBN
22	ULHL	03:39:15.4	P	48.72	294	0.6	-	-	KYRG	KYRG
23	TKM2	03:39:17.2	P	48.89	295	1.1	-	-	KYRG	KYRG
24	KBK	03:39:21.2	P	49.43	295	1.0	-	-	KYRG	KYRG
25	KZA	03:39:22.0	P	49.46	294	1.5	-	-	KYRG	KYRG
26	USP	03:39:20.8	P	49.49	296	0.2	-	-	KYRG	KYRG
27	AAK	03:39:23.1	P	49.74	295	0.5	7.2	6.1	KYRG	OBN
28	EKS2	03:39:26.8	P	50.22	296	0.6	-	-	KYRG	KYRG
29	AML	03:39:29.6	P	50.49	295	1.2	-	-	KYRG	KYRG
30	PMG	03:39:32.5	P	51.16	175	-1.2	5.6	5.5	PMG	PMG
31	KK31	03:39:40.0	P	52.21	298	-1.2	-	-	NNC	NNC
32	KIP	03:39:46.4	P	52.74	94	0.9	5.9	5.4	HON	OBN
33	ARU	03:39:53.4	P	53.87	317	0.1	6.7	5.9	OBN	OBN
34	AB31	03:40:09.0	P	56.13	308	-0.8	-	-	NNC	NNC
35	KBS	03:40:09.6	P	56.17	350	-0.1	6.3	6.3	BER	BER
36	AKTK	03:40:12.0	P	56.71	310	-2.0	-	-	NNC	NNC
37	LVZ	03:40:24.3	P	58.37	335	-1.1	6.5	5.6	OBN	OBN
38	ARCES	03:40:36.0	P	60.04	339	0.0	-	-	NAO	NAO
39	WRAB	03:40:49.4	P	62.09	190	-2.2	6.3	6.0	CAN	IRIS-IDA
40	WRA	03:40:49.2	P	62.11	190	-2.5	-	-	CAN	IDC
41	PALK	03:41:07.8	P	65.04	257	-3.2	-	-	PALK	PALK

42	OBN	03:41:11.0	P	65.20	323	-0.3	6.7	6.3	OBN	OBN
43	FINES	03:41:11.5	P	65.29	332	-0.3	-	-	HEL	IDC
44	VSR	03:41:18.8	P	66.37	318	0.0	6.7	6.7	OBN	OBN
45	MSVF	03:41:26.8	P	67.37	144	1.1	6.1	5.8	SVA	SVA
46	FFC	03:41:34.2	P	68.76	34	0.5	-	-	OTT	OTT
47	COCO	03:41:36.7	P	68.82	230	1.9	-	-	AUST	AUST
48	KIV	03:41:36.3	P	68.97	311	1.0	6.9	6.5	OBN	OBN
49	GNI	03:41:44.4	P	70.20	306	1.5	6.4	6.0	NSSP	OBN
50	ANN	03:41:49.8	P	71.34	314	0.2	-	6.1	OBN	ANN
51	AKASG	03:41:50.4	P	71.45	322	0.3	-	-	UNDC	IDC
52	KIEV	03:41:50.3	P	71.47	322	0.1	-	-	KIEV	KIEV
53	KONO	03:41:53.3	P	71.94	337	0.5	6.7	5.7	BER	OBN
54	ULM	03:42:08.5	P	74.57	35	0.0	-	5.8	OTT	OTT
55	PFO	03:42:13.0	P	75.05	58	1.4	-	-	LJC	LJC
56	BRTR	03:42:22.7	P	76.84	312	1.0	-	-	ISK	IDC
57	ESK	03:42:35.2	P	79.10	341	1.4	-	-	BGS	BGS
58	ISP	03:42:38.7	P	79.91	312	0.2	6.4	5.6	ISK	ISK
59	ANMO	03:42:42.3	P	80.25	52	1.8	6.6	6.3	ALQ	OBN
60	BFO	03:42:49.2	P	81.84	332	0.8	-	-	KRW	KRW
61	APE	03:42:55.3	P	83.16	315	-0.2	6.5	6.2	ATH	ATH
62	HKT	03:43:29.8	P	89.99	48	0.9	6.1	5.8	HKT	OBN
63	KMBO	03:44:29.0	P	102.83	280	1.2	-	-	NAI	IDC
64	SNA	03:50:06.7	PKIKP	145.87	198	1.0	6.3	-	AWIB	AWIB



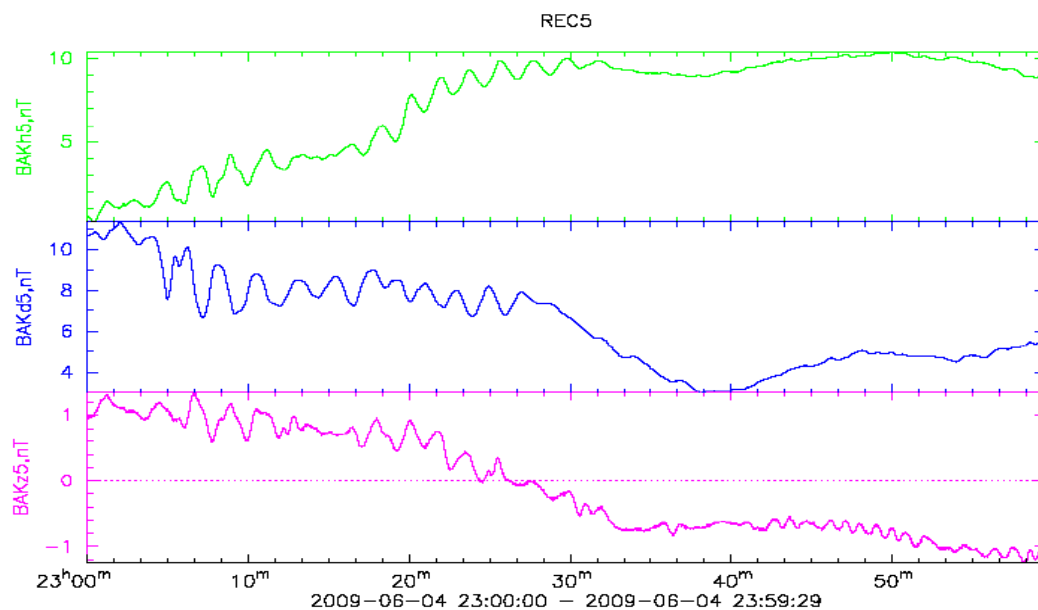


Рисунок 36 - Псевдоволновые формы магнитного возмущения, зарегистрированные перед сейсмическим событием в окрестности о. Хоккайдо, Япония.

Принятые обозначения:

BAKH1 - показания Н компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, nT;

BAKD1 - показания D компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, nT;

BAKZ1 - показания Z компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, nT;

BAKE2 - показания накломера E-W на 15 пикете Баксан, ms;

BAKN2 - показания накломера N-S на 15 пикете Баксан, ms;

BAKE5 - показания накломера E-W на 40 пикете Баксан, ms;

BAKN5 - показания накломера N-S на 40 пикете Баксан, ms;

BAKEW5 - показания накломера E-W на 40 пикете Баксан, m;

BAKH5 - показания Н компоненты магнитовариационной станции на 40 пикете Баксан, nT;

BAKD5 - показания D компоненты магнитовариационной станции на 40 пикете Баксан, nT;

BAKZ5 - показания Z компоненты магнитовариационной станции на 40 пикете Баксан, пТ.

Всего в настоящее время аппаратными комплексами УСУ КГФИИС КБГУ зафиксировано более 50 сильных сейсмических событий, которые произошли в различных регионах Земли. Полученные экспериментальные данные обрабатываются.

### **Выводы** (К методике продолжения натурных наблюдений).

В результате развертывания научных исследований по изучению аномальных электромагнитных излучений (АЭМИ) на базе информационно-измерительных комплексов в составе УСУ КГФИИС КБГУ получены новые научные результаты в УНЧ диапазоне, которые в настоящее время обрабатываются.

При продолжении натурных наблюдений кажется естественным расширение измерительной базы Северокавказской геофизической обсерватории. В составе УСУ КГФИИС целесообразна установка, по возможности, сети станций на различном удалении от вулканической постройки Эльбруса - вероятного эпицентра геодинамических событий в регионе - и организация как можно более длительных непрерывных наблюдений. И, тем не менее, здесь остаются неясными моменты выбора новых пунктов развертывания лабораторий. Являются ли геолого-геофизические, географические особенности или особенности рельефа местности важными? Для АЭМИ они, по сути, еще не только не решались, но и не ставились. Очевидны трудности на пути формулирования общих рекомендаций. И все же, исходя из имеющейся информации, по-видимому, можно определить самый общий подход к методике постановки наблюдений.

Здесь следует исходить из положения, что как само землетрясение или извержение вулкана, так и процессы подготовки таких событий - это следствие в конечном итоге тектонической активности Земли. Прогностические сигналы, являясь отражением процесса подготовки сейсмического события, определяются изменениями в напряженно-деформированном состоянии горной породы во всем

объеме зоны подготовки, в том числе и у дневной поверхности. Полагая также, что аномальные ЭМИ (как и ряд других предвестников) определяются механическими воздействиями в приповерхностных слоях земной коры.

По мнению известного российского ученого В. Н. Николаевского, мозаичность ЭМИ может быть усилена неоднородностью, связанной с водонасыщенностью верхних слоев горной породы.

В целом аномальные ЭМИ являются составной частью процесса перераспределения энергии в период подготовки землетрясения. Но обладая присущими землетрясению характерными особенностями, оно дает дополнительные сведения в исследовании динамики развития напряжений перед землетрясением.

Интегральность АЭМИ при наблюдении на поверхности земли позволяет исключить локальные особенности точки наблюдения и получить обобщенную информацию о региональных свойствах среды, характеризующую область подготовки землетрясения. Это не только открывает возможность надеяться в будущем на снижение случаев пропуска цели, но и позволяет говорить о контроле аномальных возмущений в напряженно-деформированном состоянии региона в отличие от дифференциального характера деформационных изменений по значительно менее плотной сети станций.

Отметим также, что аномальное ЭМИ - один из пока что единичных способов получения оперативных сведений накануне стихийного бедствия.

В настоящее время проблема изучения оперативных электромагнитных предвестников находится на первой стадии научно-исследовательской работы, характеризующейся набором статистического материала и выявлением основных закономерностей и региональных особенностей. Эта стадия предполагает постановку режимных наблюдений на оптимальной сети станций, оснащенной стандартизированной аппаратурой, внедрение в практику экспериментальных исследований вычислительной техники и методов оперативной обработки информации в реальном масштабе времени получаемых данных.

Временной масштаб проявления предвестника в десятки минут - первые часы без сомнения значительно усложняет возможности своевременного и надежного выделения сигнала, но в то же время, многократно повышает актуальность и необходимость такой работы.



### **Глава 3 Мониторинг тонкой структуры магнитного и сейсмического полей приборами КГФИИС КБГУ. Создание концепции по модернизации УСУ**

#### **3.1 Мониторинг тонкой структуры магнитного и сейсмического полей**

Систематические экспериментальные наблюдения магнитной и сейсмической активности в районе Эльбрусской вулканической области начали проводиться, начиная с 2007 года. Именно в этот период были завершены основные работы по изготовлению постаментов и монтажу основных информационно-измерительных комплексов УСУ КГФИИС КБГУ.

Давая общую характеристику полученным к настоящему времени научным результатам отметим, что за период наблюдений 2007-2009 годы сейсмическая обстановка оставалась умеренно спокойной. Отдельные сейсмические события в соседних с Кабардино-Балкарией областях на территории Республики ощущались силой в 3-4 балла по шкале Рихтера. Последнее обстоятельство можно объяснить только наличием здесь обширного магматического очага, который играет роль демпфера и сглаживает сильные подвижки и другие геодинамические возмущения, обуславливаемые сейсмической активностью в районе Северного Кавказа.

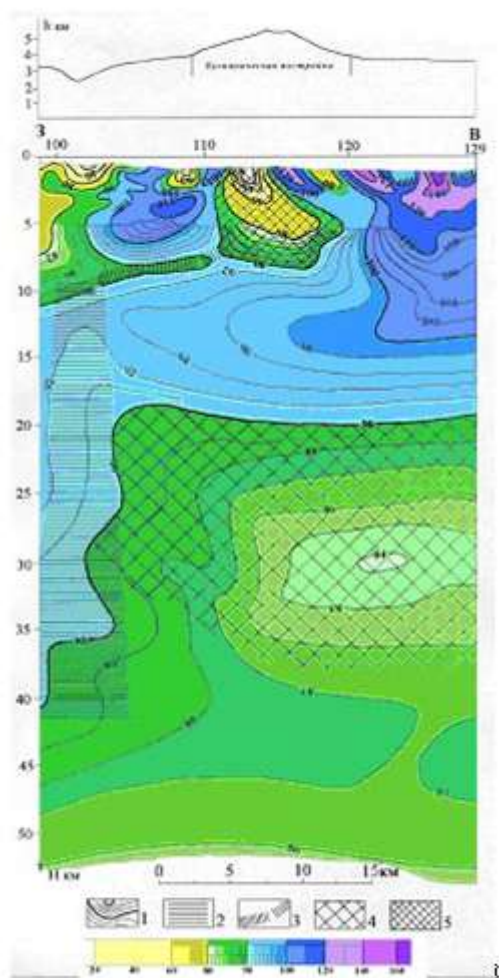
В подтверждение сказанного приведем структуру внутреннего строения Эльбрусской вулканической области (рисунок 37), которая была получена нами ранее при изучении активности вулкана [Собисевич и др. 2005].

Проведенными исследованиями установлено, что вулканическая камера Эльбруса на глубине около 4 км характеризуется близизометричной формой (с характерными размерами 10×15 км), вытянутой в северном направлении относительно положения кратера.

На срезе, отвечающем глубинам порядка 3 км, заметно незначительное ответвление (рукав) в близширотном (восток-северо-восточном)

направлении. Интересно отметить, взаимосвязь вулканической камеры Эльбруса с материнским магматическим очагом.

В



Собисевич, 2000]

Рисунок 37 - Вертикальный разрез поля тектонической раздробленности коры, проходящий через вулкан Эльбрус и ориентированный вдоль простирания Кавказа. 1-изолинии поля тектонической раздробленности коры: жирные - сечением через 10 усл.ед., тонкие - через 2 или 1 усл.ед.; 2-область (зона) повышенной раздробленности нижней части коры; 3-близгоризонтальные ослабленные зоны (возможный путь притока первичной магмы вулканическую камеру); 4-область anomalно пониженных значений поля в верхах базальтовой коры, рассматриваемая в качестве потенциального материнского магматического очага, служащего в прошлом поставщиком материала для заполнения вулканических камер; 5-область anomalно пониженных значений поля в верхней части коры, отождествляемая с вулканической камерой. [Ю.В. Нечаев,

Магматическая камера Эльбруса, оконтуренная по изолинии 90 усл. ед., располагается в районе вулканической постройки и характеризуется значительными размерами: нижняя кромка приурочена к глубинам порядка 8 км; западная граница камеры – близвертикальна, восточная – наклонена к востоку под углом порядка 40°; на глубинах около 5 км ширина камеры достигает размеров порядка 9 км и, по мере продвижения к поверхности, постепенно уменьшается; по нашим данным резкое уменьшение размеров камеры начинается с глубин порядка 2 км, где она не превышает 5 км, на глубине 1 км размеры камеры 2 – 2,5 км.

Магматическая камера вулкана Эльбрус приурочивается к западной периферии материнского магматического очага, располагаясь выше него на расстоянии 10-12 км. Очевидно, что поставка вулканического материала из очага в камеру происходит вдоль тектонически ослабленных зон. Значения поля тектонической раздробленности литосферы подтверждают наличие ослабленной (пограничной) зоны, приуроченной к западному окончанию Траскавказского поперечного поднятия. Такая зона прослеживается в интервале глубин от 45 до 12 км. Подобный характер поля позволяет наметить потенциально возможный путь движения магмы в камеру [Ю.В. Нечаев, Собисевич, 2000].

Отмеченные магматические структуры вулкана Эльбрус с геофизической точки зрения имеют особенности. Образование магм ведет к резкому снижению вязкости вещества в области выплавления и, как правило, к уменьшению его плотности и изменению других геофизических параметров, что в свою очередь приводит к перестройке внутренней структуры области и образованию отдельностей с выраженными резонансными особенностями, которые проявляются в спектрах мод литосферных деформаций и сейсмических полях.

Внутренняя структура Эльбрусской вулканической области в крест простирания Главного Кавказского хребта приведена на рисунке 38.

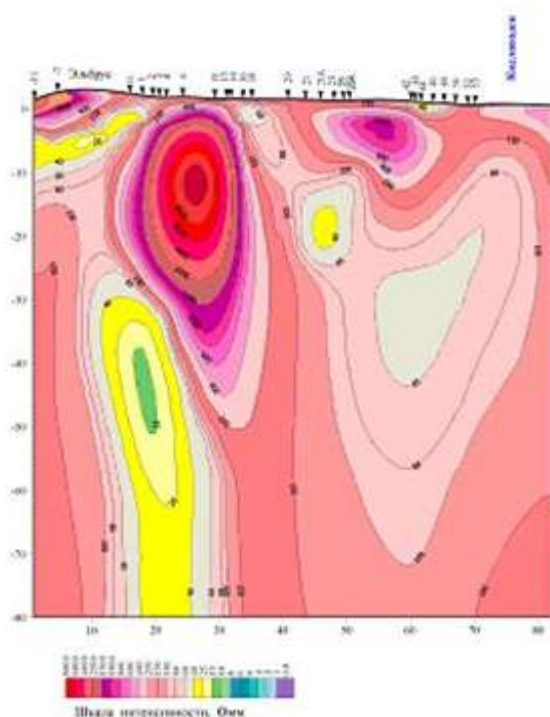


Рисунок 38 - Геоэлектрический разрез, отражающий интерпретацию данных, полученных методом магнито-теллурического зондирования по линии Приэльбрусского профиля. Горизонтальная ось – расстояние по профилю в км, вертикальная ось – глубина в км. Слева на разрезе – юг, справа – север. На рисунке нанесены изолинии равных сопротивлений, отражающие внутреннее строение Эльбрусской вулканической области [В.Н. Арбузкин и др., 2002].

Характеризуя приведенные выше результаты, полученные учеными из ФГУП «Кавказгеолсъемка», отметим, что геоэлектрическая характеристика верхней части разреза очень изменчива. В работе [В.Н. Арбузкин и др., 2002] показано, что наиболее проводящий разрез фиксируется в северной половине профиля в пределах Скифской плиты. Магматический очаг занимает обширную область и сдвинут в сторону Кисловодска. Такие параметры глубинного очага, как более высокая проводимость и меньшая скорость сейсмических волн, дают возможность предположить его большую температуру.

### **3.2 Результаты натурных наблюдений магнитного поля в районе Эльбрусского вулканического центра**

С целью выявления аномального поведения магнитного поля Земли в районе вулканического центра Эльбрус в нами были пройдены магнитные профили от г. Нальчика вдоль Баксанского ущелья до поляны Азау.

Для проведения измерения магнитного поля использовался процессорный оверхаузеровский датчик POS-1, который является бесклавиатурным, управляемым по порту, прецизионным измерительным прибором циклического типа, основанным на принципе динамической поляризации ядер (эффект Оверхаузера). Датчик предназначен для измерения модуля индукции магнитного поля Земли в диапазоне 20000-100000 нТл.

Основой датчика служит оверхаузеровский ядерно-прецессионный преобразователь на стабильном рабочем веществе (время жизни порядка 5-10 лет). По сравнению с протонными преобразователями данный тип преобразователя обладает меньшим энергопотреблением, большей чувствительностью и градиентоустойчивостью. Использование в составе датчика микропроцессора позволяет управлять датчиком по последовательному порту с внешнего блока управления, в качестве которого может выступать специализированный регистратор или обыкновенный компьютер, и выводить

результаты измерений и дополнительную информацию в цифровом виде через порт автоматически или по запросу.

Высокие технические и эксплуатационные параметры датчика в комплекте с различными внешними блоками управления обеспечивают широкие возможности его применения, например, в качестве:

- полевого магнитометра переносного типа для геологоразведочных работ;
- вариационной станции;
- обсерваторского магнитометра;
- эталонного магнитометра мер слабого магнитного поля;
- магнитного канала многофункциональных геофизических систем.

Метрологические и технические характеристики POS-1 приведены в таблицах 5 и 6. Датчик не имеет клавиатуры и дисплея. Управление и обмен данными с датчиком осуществляется только по последовательному порту (RS232). Поэтому, для управления датчика использовался ноутбук с автономным питанием. При этом питание ноутбука и POS-1 осуществлялось от одного источника питания. Это позволило проводить измерения без организации заземления в точке измерения.

Перед измерением проводилось определение координат по GPS приемнику. Ноутбук располагался в автомобиле и соединялся с датчиком кабелем длиной 30. Во время измерения производилась остановка автомобиля, датчик относили как можно дальше от дороги (рисунок 39). Если не удавалось найти хорошую точку у дороги, то переносили компьютер в подходящее для измерения место и там проводили замер.

Начальной точкой прохождения профиля был двор КБГУ перед лабораторией №2. Далее через г. Чегем, по Баксанскому ущелью, через г. Тырныауз, пос. Эльбрус, пос. Терскол до поляны Азау. Карта маршрута прохождения профиля представлена на рисунке 41. Линейная развертка профиля изменения высоты вдоль маршрута приведена на рисунке 40. На рисунке 42 приведён график движения по профилю в абсолютных координатах.

Таблица 5 - Метрологические характеристики.

№ п/п	Характеристика (параметр)	Значение
1	Диапазон измерений модуля магнитной индукции, нТл.	20000 – 100000
2	Коэффициент преобразования датчика.	$1,0 \cdot 10^{12} \pm 0,5$
3	Основная систематическая погрешность измерения, не более, нТл.	1
4	Модуль среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения при длительности измерения не менее 3-х секунд, не более, нТл.	0,1
5	Модуль среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения при длительности измерения не менее 3-х секунд и градиенте модуля поля 10000 нТл/м, не более, нТл.	50
6	Дополнительная погрешность измерения в интервале температур от $-10^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$ , не более, нТл.	1
7	Дополнительная погрешность измерения при отклонении первичного преобразователя на угол $45^{\circ}$ от оптимальной ориентации, не более, нТл.	1

Таблица 6 - Технические характеристики.

№ п/п	Характеристика (параметр)	Значение
1	Напряжение питания, В.	10 – 15
2	Потребляемая мощность, не более, Вт: - средняя за цикл измерения; - в режиме ожидания;	3 0,05
3	Время жизни рабочего вещества датчика, лет.	5 – 10
4	Градиентоустойчивость, не менее, нТл/м.	20000
5	Нестабильность за 8 часов работы, не более, нТл.	0,3
6	Время установления рабочего режима, не более, с.	10
7	Длительность однократного измерения, не более, с.	3
8	Цикличность автоматического запуска измерений, с.	1, 2, 3, 4, ...
9	Начальная амплитуда сигнала прецессии аналогового выхода, В.	0,5 – 2
10	Угол оптимальной ориентации оси цилиндра первичного преобразователя относительно направления магнитного поля, град.	$90 \pm 10$
11	Габариты (без учёта разъёмов), не более, мм первичный преобразователь блок электроники.	цилиндр $\varnothing 70 \times 120$ $160 \times 90 \times 60$
12	Масса, не более, кг.	2





Рисунок 39 - Измерения магнитного поля датчиком POS-1 во время прохождения профиля по Баксанскому ущелью.

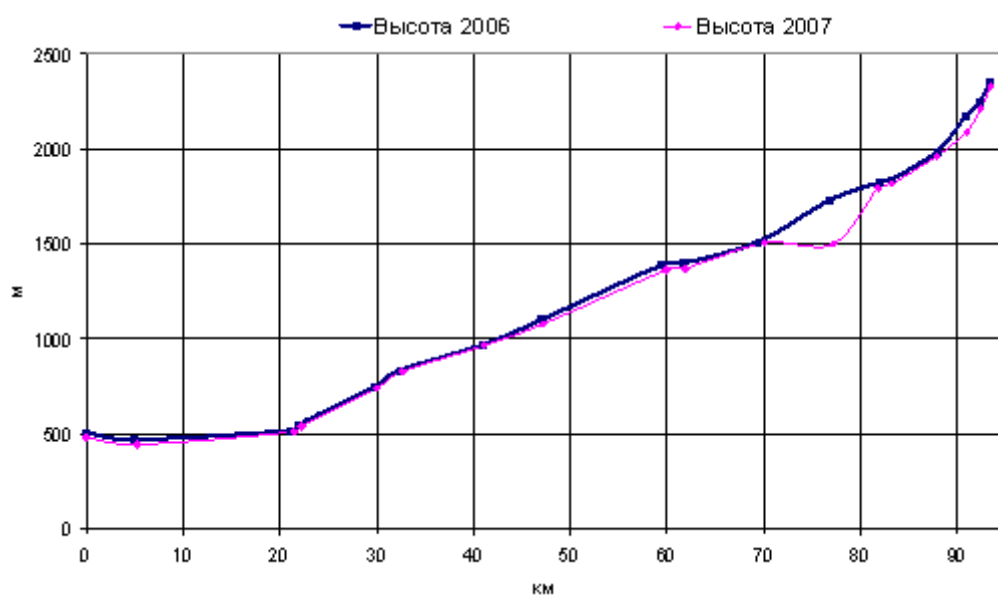


Рисунок 40 - Профиль высоты над уровнем моря.

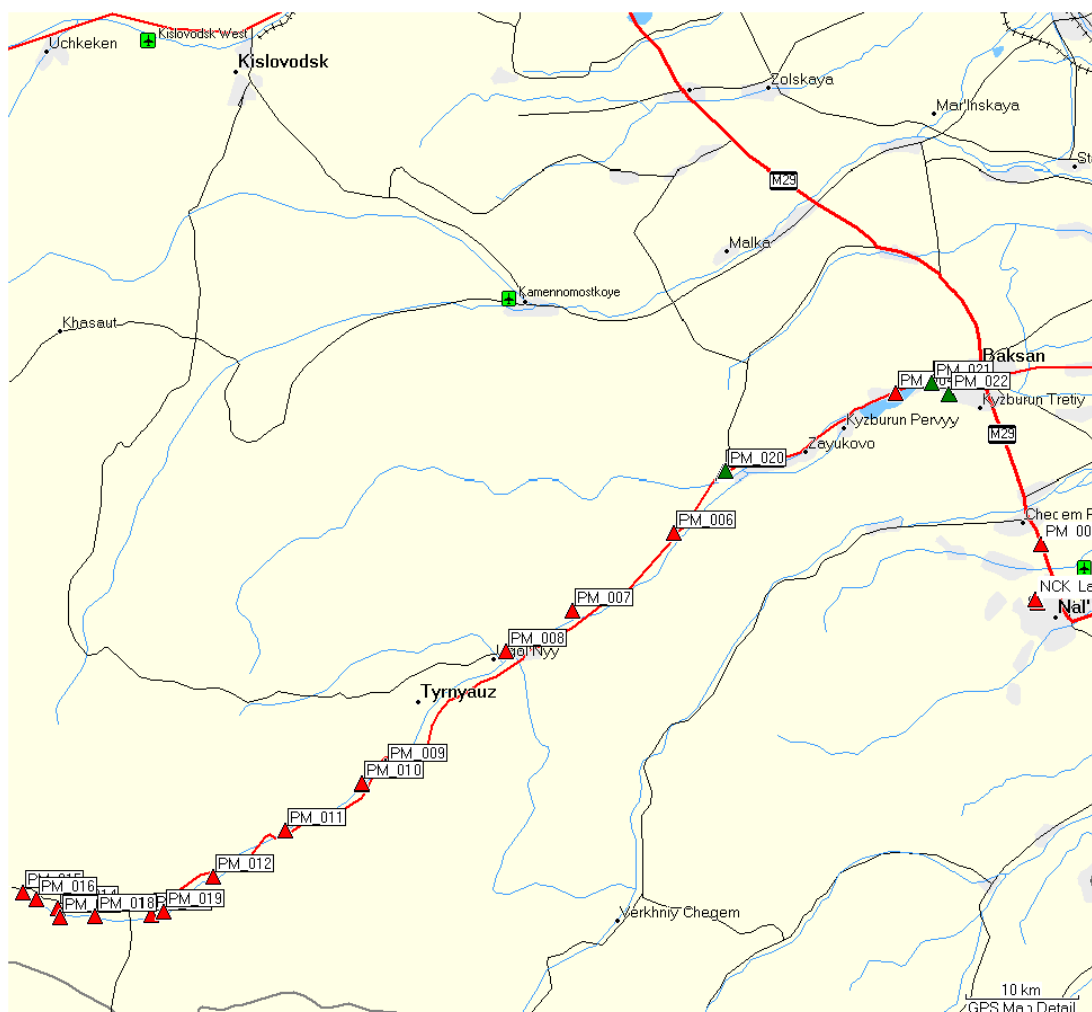


Рисунок 41 - Карта маршрута прохождения профиля.

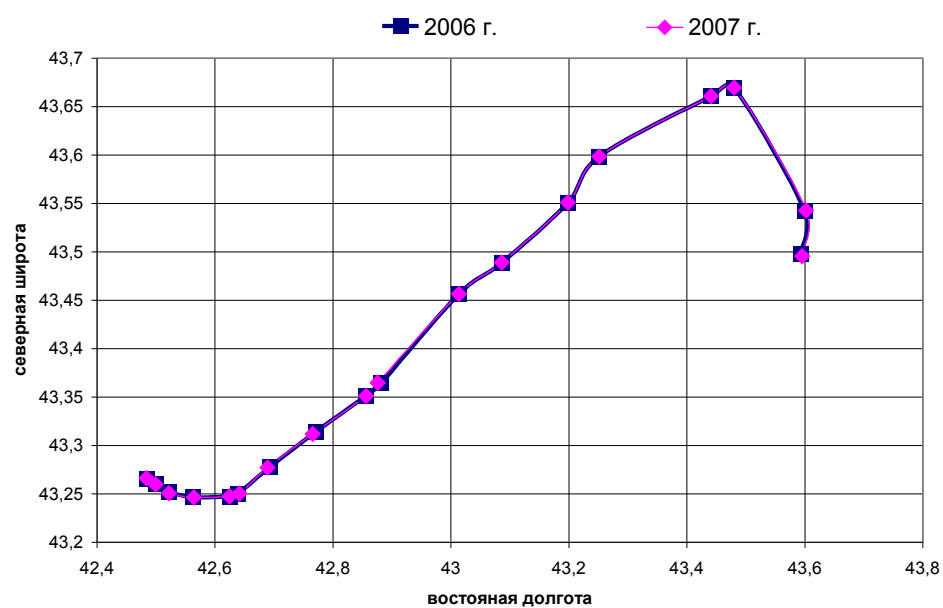


Рисунок 42 - График движения по профилю в абсолютных координатах.



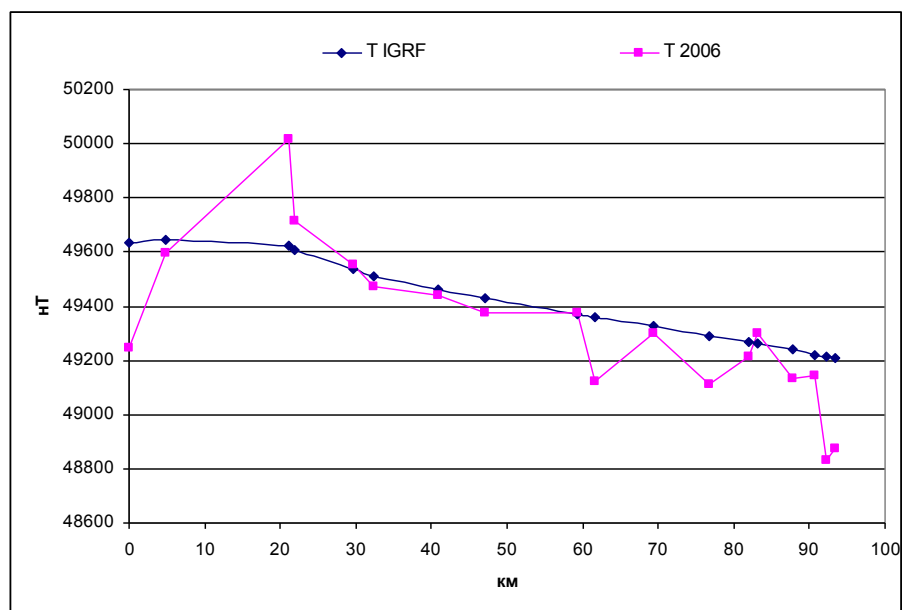


Рисунок 43 - Профиль прохождения магнитного поля 2006 год. T IGRF – расчет профиля по модели IGRF; T 2006 – измерение профиля в 2006 году.

График изменения магнитного поля вдоль профиля приведен на рисунках 43, 44. Здесь же приведены графики модуля вектора напряженности геомагнитного поля, рассчитанные по модели IGRF.

Модель геомагнитного поля IGRF/DGRF позволяет вычислить магнитное поле Земли в определенных координатах с учетом источников поля, которые находятся внутри Земли, без учета внешних токов.

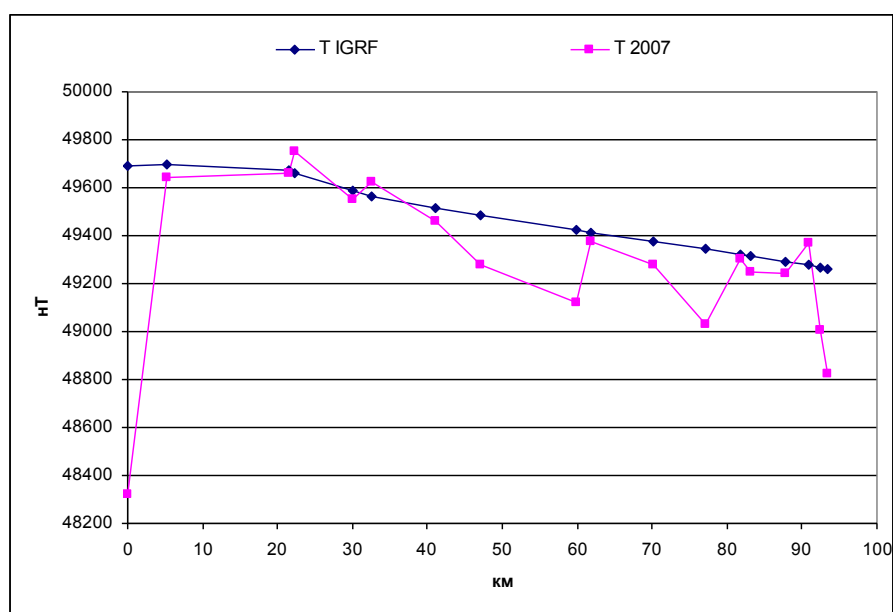


Рисунок 44 - Профиль прохождения магнитного поля 2007 год. T IGRF – расчет профиля по модели IGRF; T 2007 – измерение профиля в 2006 году.

Модель основана на экспериментальных наблюдениях на геомагнитных обсерваториях, кораблях, самолетах и искусственных спутниках Земли. Модель реализована в виде набора модулей на фортране. Исходные коды программы bilcal, с помощью которой производится расчет находятся в открытом доступе по адресу [nssdcftp.gsfc.nasa.gov \(http://modelweb.gsfc.nasa.gov/magnetos/igrf.html\)](http://modelweb.gsfc.nasa.gov/magnetos/igrf.html).

Отличия профиля в начале маршрута от расчетного объясняется техногенными причинами. В районе КБГУ, где проводились измерения, пролегал много коммуникаций, которые существенно искажают магнитное поле.

Постепенное уменьшение магнитного поля по мере приближения к Эльбрусу и резкое падение поля в районе поляны Азау вызвано наличием магматической камеры в этом районе.

Намагниченность у магмы отсутствует, а проводимость магмы в магматическом очаге намного больше проводимости горной породы. Все это приводит к изменению распределения земных токов в районе Эльбрусского вулканического центра, что в свою очередь вызывает изменению распределения магнитного поля. При построении расчетного профиля вклад магматической камеры не учитывался.

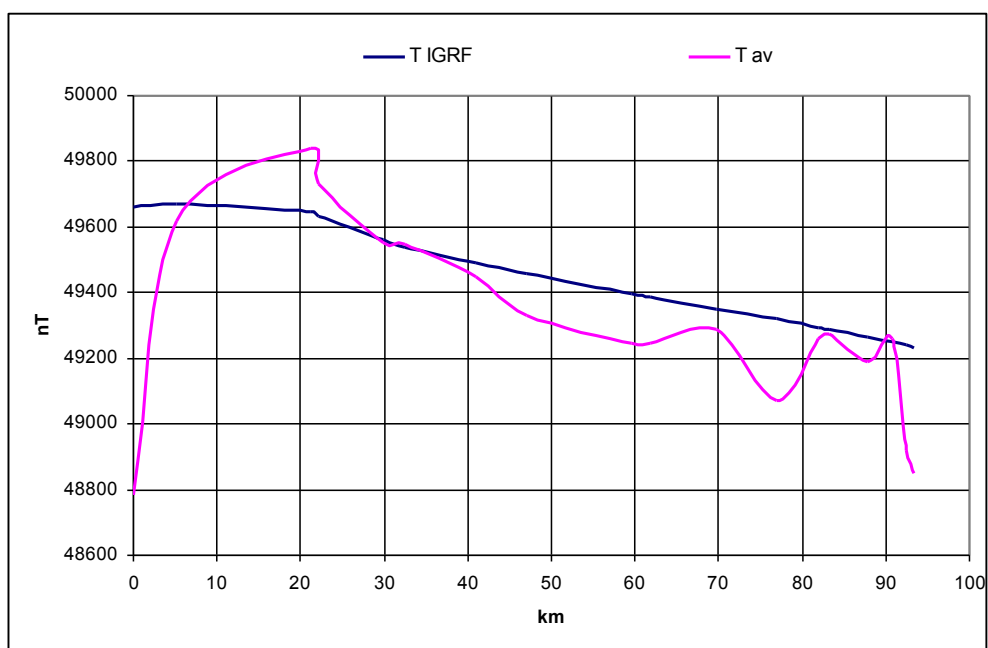


Рисунок 45 - Профиль прохождения магнитного поля осредненный за 2006 и 2007 гг.  
T IGRF – расчет профиля по модели IGRF; T – осредненная величина поля.

Отличия модели от экспериментальных значений начинается после Тырныауза. По мере приближения к Эльбрусу магнитное поле падает. Резкое падение начинается после поселка Терскол и продолжается до поляны Азау, которая являлась последней точкой маршрута.

Реально существующая картина магнитного поля Земли зависит не только от конфигурации токового слоя, но и от магнитных свойств земной коры, а также от относительного расположения магнитных аномалий. Здесь можно провести аналогию с контуром тока при наличии ферромагнитного сердечника и без него. Известно, что ферромагнитный сердечник не только меняет конфигурацию магнитного поля, но и значительно усиливает его в ближней зоне за счет перераспределения (откачки из дальней зоны). В данном случае наоборот. Присутствие магматической камеры означает наличие большой массы, лишенной магнитных свойств, что приводит к уменьшению магнитного поля. Это и наблюдается по мере приближения к центру вулкана Эльбрус.

### **3.3 Сейсмичность Кавказа. Оценка сейсмичности Эльбрусской вулканической области**

Большой Кавказ – регион, где непосредственно на поверхности с помощью геологических методов можно изучать новейший вулканизм и сейсмогенный слой земной коры, который, в первую очередь, образован сложноскладчатыми комплексами протерозоя, палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Он традиционно считается природной лабораторией для изучения складчатости и миоцен-плиоцен-голоценового магматизма. Имеется также представление, что эта складчатая система представляет собой ярко выраженный «кавказский» тектонотип, для которого характерно широкое развитие разнообразных складчатых форм (в противоположность «альпийскому» тектонотипу, для которого более характерна шарьяжно-складчатая структура). В то же время Большой Кавказ является составной частью обширной складчатой области Кавказа в целом. При этом мало кто задумывался о соотношении факторов взаимосвязи и независимости

Большого и Малого Кавказа, составляющих эту область. Однако это обстоятельство приходится принимать во внимание при развитии технологии сейсмического мониторинга вулканических структур.

В процессе проведения НИР целесообразно было собрать недостающий структурно-геологический материал, отражающий строение верхнего горизонта земной коры для отдельных ранее плохо изученных районов мегантиклинория Большого Кавказа и провести его интерпретацию с использованием ранее опубликованных данных, но с применением единого и современного комплекса методов. Такой подход позволил выявить и закартировать структурные неоднородности складчатого комплекса, отражающиеся в стиле новейших и современных движений и контролирующие сейсмичность, а также оценить характерные размеры этих неоднородностей: протяженность и ширину продольных и поперечных приразломных (шовных) зон и разграниченных ими блоков.

Материалы изучения сильных землетрясений, происшедших в последнее десятилетие на Кавказе, а также результаты впервые проведенных здесь измерений скоростей вертикальных и горизонтальных перемещений отдельных тектонических блоков методом GPS, позволили по-новому взглянуть на строение и современное развитие этой обширной складчатой области на границе Юго-Восточной Европы и Азии.

Происшедшие в недавнем прошлом на Кавказе Спитакское (1988 г,  $M = 6.9$ ) и Рачинское (1991 г,  $M = 7.1$ ) землетрясения в корне изменили наши представления об умеренном уровне сейсмической опасности этого региона. К особенностям очагов этих сейсмических катастроф относятся их неглубокое, приповерхностное залегание, большие размеры (длина и ширина измеряются десятками километров) и значительные нарушения на земной поверхности. Очаг Спитакского землетрясения, например, вспорол земную поверхность в виде весьма протяженной системы сейсморазрывов. При сейсмической катастрофе в Армении, а еще в большей степени при Рачинском землетрясении, возникли также

многочисленные и разнообразные по размерам сейсмогравитационные явления: обвалы, оползни, оплывины, каменные и грязекаменные лавины.

Специально проведенные в пределах этого очага исследования показали, что и ранее (25000, 17000 и 3000-5000 лет назад) в нем уже возникали подобные или даже более сильные сейсмические события. Лишний раз подтвердилось, что Малый, как и Большой Кавказ, являются зонами высокой сейсмической и инженерно-геологической опасности. Несмотря на то, что очаги сильных землетрясений связаны с продольными структурами кавказской ориентировки (Спитакский очаг – с Памбак-Севанской шовной синклинорной зоной Малого Кавказа, а Рачинский – с Рача-Лечхумской шовной синклинорной зоной Большого Кавказа), на уровне структур более высокого ранга обе они приурочены к давно известной и хорошо изученной структуре – Транскавказскому поперечному поднятию. Оно пересекает весь Кавказский регион вкрест, с юга на север (рисунок 46) и на всем протяжении четко выражено в рельефе, геофизических полях, в пространственном распределении тектонических разломов, а также в исключительной приуроченности к нему всей магматической активности новейшего этапа развития с позднего миоцена до голоцена включительно.

Именно в пределах этого поднятия, начиная с 1976 г. (с Чалдыранского землетрясения в северо-восточной Турции) концентрируются все сильнейшие землетрясения Закавказья: Параванское, Спитакское, Рачинское, Джавское. И если первые три события возникли на Малом Кавказе, то два последних, захватили уже южный склон Большого Кавказа, фиксируя развитие сейсмического процесса в конце XX века в северном направлении.

На северном продолжении Транскавказского поперечного поднятия (в пределах северного склона Большого Кавказа) расположен Минераловодский выступ с его позднемиоценовыми (8,2 млн. лет) трахириолитовыми лакколитами Кавказских Минеральных Вод, а еще севернее Ставропольское поднятие Предкавказья.

Эти воздымающиеся в новейшее время и на современном этапе зоны имеют некоторые общие тектонические черты с теми районами Закавказья, которые

принадлежат поперечному Транскавказскому поднятию с его сильнейшими землетрясениями. В их числе проявления плиоцен-голоценового магматизма, наличие субмеридиональных зон активных разломов, а также узлов их пересечения с крупными разломами кавказской ориентировки (субширотной и диагональной).

Территория Кавказа в целом характеризуется высоким уровнем сейсмичности [Новый каталог..., 1977].

Все землетрясения с магнитудой около 7,0 и выше относятся к пограничным территориям крупных тектонических подразделений Кавказской горно-складчатой области.

Отмечаются следующие особенности проявления сейсмичности на Кавказе и в Предкавказье:

1) относительно низкий уровень сейсмичности на Скифской плите по сравнению со смежными участками области альпийской складчатости (Кавказ, Северная Анатолия);

2) повышенная сейсмичность Закавказья (Малого Кавказа, Южного склона Большого Кавказа и Закавказских депрессий) относительно других частей региона;

3) повышенная сейсмичность Восточного и Центрального Кавказа по сравнению с Западным;

4) существование поперечных зон повышенной сейсмичности;

5) неравномерность пространственного распределения сейсмичности внутри крупных продольных структурных элементов региона.

Практика изучения сейсмических явлений в целом и катастрофических землетрясений в частности показывает, что многие потенциально опасные в сейсмическом отношении зоны еще не проявились очагами с максимальной возможной в них энергией ( $M_{\text{макс}}$ ). Подтверждением этого тезиса является возникновение катастрофических землетрясений в местах, в которых они ранее не были известны, а стало быть, были пропущены при проведении работ по оценке сейсмической опасности, будь то сейсмическое районирование общего, или

детального типа (ОСР - ДСР), заключение по атомной станции, химическому заводу и т.д. Примеры таких землетрясений приводились в предыдущих разделах.

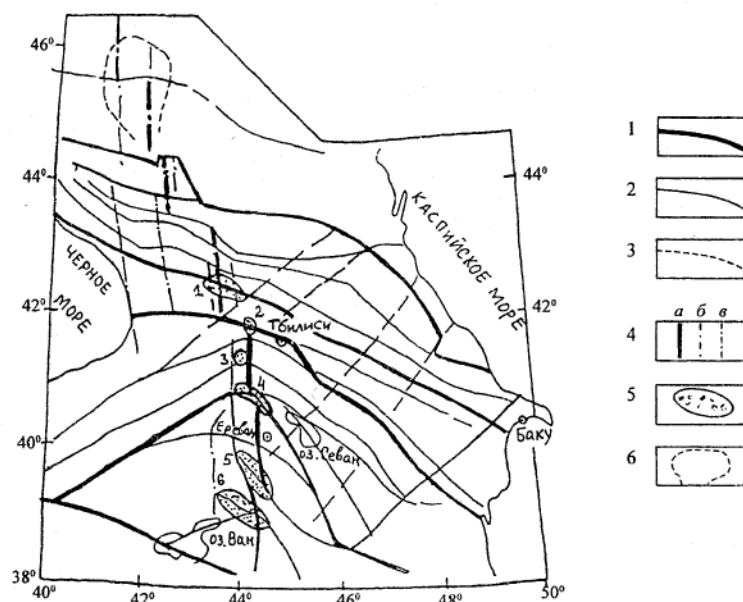


Рисунок 46 - Схематическая карта крупнейших разломов Кавказа.

1 – межзональные разломы; 2 – региональные разломы; 3 – то же «антикавказского» простирания; 4 – разломы Транскавказского простирания (а-подчеркивающиеся цепочками вулканов; б, в - по структурно-геологическим данным: б-крупные, в-мелкие); 5 – очаговые зоны сильных землетрясений в пределах Транскавказского поперечного поднятия (1-Рачинского, 1991 г., 2-Горийского, 1920 г., 3-Параванского, 1986 г., 4-Спитакского, 1988 г., 5-Арагатского, 1840 г., 6-Чалдыранского, 1976 г.); 6 – контуры Ставропольского поперечного поднятия.

Представляется, что тяжелейшие ошибки типа «пропуск цели» имеют одну общую причину – от недооценки до полного игнорирования геолого-геофизических данных и методов их анализа, вследствие чего оценки сейсмической опасности не несут в себе прогностической составляющей, а базируются только на фиксированных данных сейсмологических каталогов. Между тем использование геолого-геофизических данных позволяет не только получать новые сведения о палеоземлетрясениях, но и корректнее решать прогностические задачи по определению величины сейсмического потенциала ( $M_{\text{макс}}$ ).

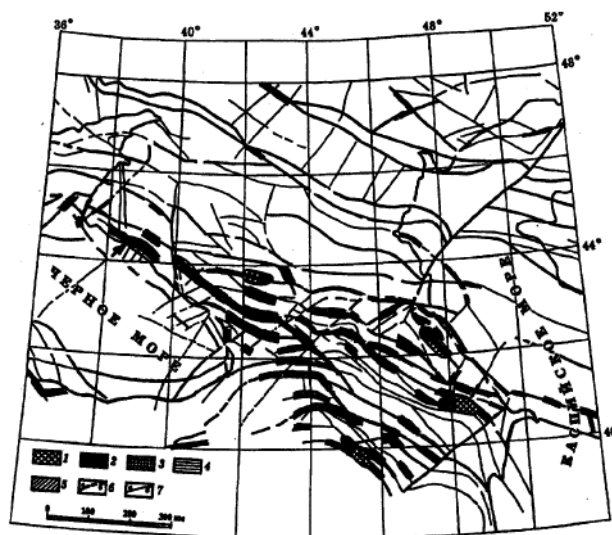


Рисунок 47 - Потенциальные очаги землетрясений Кавказа. Схема составлена Е.А. Рогожиным с использованием материалов Г.И. Рейснера. 1-5 - потенциальные очаги сильных землетрясений с разными значениями прогнозируемой  $M_{\text{макс}}$ : 1 - более 7,2-7,5  $\pm 0,2$ ; 3-7,0  $\pm 0,2$ ; 4-6,5  $\pm 0,2$ ; 5-6,0  $\pm 0,2$ ; 6, 7 - разломы: 6 - региональные, 7- локальные. Стрелкой показано место проведения палеосейсмогеологических работ на Северо-Западном Кавказе.

На территории Ставропольского края возможно возникновение землетрясений с  $M_{\text{макс}} = 4,2-4,6$  на Ставропольском своде и до  $M_{\text{макс}} = 6,0-6,5$  на Минераловодском выступе. При этом следует учитывать, что резкий, повсеместный подъем уровня грунтовых вод сильно ухудшил здесь грунтовые и инженерно-гидрогеологические условия, и вызвал с начала 90-х годов активизацию гравитационно-склоновых процессов (в том числе массовых оползней).

При исследованиях Кавказского региона, сеймотектонические зоны северного склона Северо-Западного сегмента Большого Кавказа характеризуется низким или умеренным уровнем сейсмической опасности. Расчетная  $M_{\text{макс}}$  составляет 3,7-5,1 а глубина гипоцентров ожидаемых землетрясений составляет до 10 км. Землетрясения такой силы обычно не оставляют сейсмодислокаций на поверхности земли. По-видимому, эта оценка представляется правильной, поскольку никаких следов сейсмогенных нарушений на поверхности и в приповерхностных горизонтах в изученных зонах разломов северного склона не найдено [Рогожин, Овсяченко, 2001].

В то же время сеймотектонические зоны южного склона Северо-Западного Кавказа значительно более сейсмоактивны. Сейсмический потенциал ожидаемых



здесь землетрясений ( $M_{\text{макс}}$ ) по разным оценкам составляет 6,5-6,9. Землетрясения такой силы при глубине очагов 10-12 км могут оставлять на поверхности земли видимые сейсмодислокации, как первичного (сейсморазрывы), так и вторичного (оползни, обвалы и др.) типов. В зонах высокоактивных с геологической точки зрения разломов можно предполагать наличие деформаций поверхности, оставленных сильными доисторическими или историческими землетрясениями.

Северный Кавказ является единственной по-настоящему опасной с сейсмической и вулканической точек зрения областью Европейской части России. Природные катастрофы на этой густо заселенной, проблемной с национальной и социальной точек зрения территории чреваты серьезными экологическими, политическими и экономическими последствиями. Поэтому изучение причин возникновения сильных землетрясений и катастрофических извержений вулканов на этой территории является актуальной научной задачей. Как уже говорилось выше, в последние десятилетия XX века Кавказский регион подвергся целой серии сильнейших землетрясений. Наблюдается его явная сейсмическая активизация. Большинство очагов сильных толчков (Параванского 1986 г., Спитакского 1988 г., Рачинского 1991 г., Барисахского 1992 г.) сконцентрировалось в пределах крупнейшей геологической структуры, пересекающей Кавказский регион в меридиональном направлении, - в Транскавказском поперечном поднятии.

Центры молодого вулканизма Кавказской подвижной области также тяготеют к Транскавказскому поперечному поднятию. Проявлявшие вулканическую активность в позднечетвертичное время вулканы Арарат, Арагац, Казбек, Кабарджин, Эльбрус и др. приурочены к этой поперечной относительно всей складчатой области зоне. В центральном сегменте Северного Кавказа отмечались неоднократные извержения вулкана Эльбрус в позднем плейстоцене и голоцене [Богатилов и др., 1998]. Определение возраста с помощью разных методов показало, что древние извержения происходили  $39 \pm 5$ ;  $28 \pm 3$ ;  $23 \pm 2$ ;  $\sim 21$ ;  $\sim 9,2-9,3$ ;  $\sim 7,8-8,0$ ;  $\sim 7,2$ ;  $\sim 6,0$ ;  $\sim 4,9$ ;  $\sim 4,6$  тыс. лет тому назад и в I-II веках н.э. [Геодинамика и сейсмотектоника...2001]. При этом происходили излияния

лавовых потоков, выбросы газовых и палящих туч, возникали пепловые облака и лахаровые сели. В результате проведенных в последние годы геолого-геофизических, геохимических и др. наблюдений под Эльбрусом в центральной части земной коры обнаружена обширная камера, содержащая расплавленный магматический материал [Катастрофические процессы..., Том 1, 2002]. В свете этих данных вулкан нельзя признать полностью потухшим в настоящее время, а лишь можно квалифицировать в качестве временно «уснувшего». То есть имеются основания ожидать в неопределенном будущем новой активизации вулканических процессов в этой области.

Результаты оценки сейсмической опасности для Кавказского региона, проведенной на базе кластерного анализа комплекса геолого-геофизических и сейсмологических данных, показали, что в районе Эльбруса имеется потенциальный сейсмический очаг с прогнозируемой максимальной магнитудой ожидаемых землетрясений 7,2 [Рогожин и др., 2001]. Этот потенциальный очаг землетрясений (ПОЗ) за инструментальный и исторический периоды наблюдений проявил себя крайне вяло. По сути дела в районе Эльбруса мы наблюдаем обширную зону сейсмического затишья, в пределах которой практически не фиксируются ни слабые, ни умеренные по силе толчки, не говоря уже о сильных сейсмических событиях. В то же время собранные разными авторами данные о палеосейсмодислокациях свидетельствуют о том, что в прошлом здесь, по-видимому, имели место сильнейшие землетрясения [Никонов; 1991; Рогожин и др., 2001]. В силу того, что мощные извержения вулканов часто предваряются и сопровождаются сильными землетрясениями [Геодинамика..., 2001], представляется возможным использовать сейсмические толчки, если таковые возникнут в вулканической области Эльбруса, в качестве предвестников грядущего катастрофического извержения. Однако, прежде требуется исследовать соотношение сейсмических и вулканических проявлений в зоне именно этого вулкана.

Полевое изучение следов сильных землетрясений доисторического прошлого в окрестностях вулкана, в бассейне реки Баксан и верховьях реки

Малки позволило выявить палеосейсмодислокации как первичного, сеймотектонического, так и вторичного, сейсмогравитационного и вибрационного генезиса. К первичным дислокациям относится эшелонированная система палеосейсморазрывов меридиональной, транскавказской ориентировки, осложняющая борта и поверхность небольшой плоской грабенообразной котловины бывшего немецкого аэродрома времен Второй мировой войны на северо-восточном склоне вулканического конуса. Общая протяженность системы сейсморазрывов превышает 5 км, а длина некоторых из них составляет 800-1000 м. Разрывы характеризуются сбросо-левосдвиговой кинематикой, нарушают коренные породы палеозойского возраста в пересекаемой ими зоне Пшекиш-Тырныаузского разлома, перекрытую мореной поверхность Кызылколского лавового языка позднеплейстоценовых (возраст 40-45 тыс. лет) дацитов, образуют ступени в рельефе хребтов и по обрамлению котловины «аэродрома». Разрывы на поверхности «аэродрома» сопровождаются на всем протяжении узкими линейными карманами аномально мощной палеопочвы (толщиной до 1 м при нормальной мощности современной почвы 5-15 см), содержащей в подошве угловатые обломки дацитов, слагающих относительно приподнятое западное крыло. Амплитуда вертикального (сбросового) сейсмогенного смещения по этой системе разрывов измеряется величиной 1.5-2.0 м. Импульсная подвижка, очевидно, имеет голоценовый возраст.

Вторичные палеосейсмодислокации выражены: многочисленными оползнями рыхлых склоновых отложений; блок-оползнями коренных пород, обнаруживаемых повсеместно на склонах вулканической постройки и в долинах притоков реки Баксана, в истоках рек Малки и Кубани; телами древних каменных лавин в долинах рек Баксана и Адырсу; нептуническими дайками в толщах рыхлых аллювиальных и озерных песков, а также в горизонте лахара. Объем отдельных сейсмогравитационных склоновых образований достигает 15-17 млн.м<sup>3</sup>. Наиболее крупные из них в прошлом полностью перекрывали долины реки Баксан и его притоков (Адырсу, Адылсу, Кыртык, Ирик), в связи с чем возникли и существовали некоторое время впоследствии прорвавшиеся и

спущенные запрудные озера. Осадки этих озер сохранились на поверхности плейстоценовых аллювиальных террас. Распластавшаяся на пологих поверхностях аллювиальных террас обвальная масса каменных лавин обычно отделена от зоны зарождения обвала, располагающейся на соседних участках крутых склонов гор своеобразным понижением типа шейки. Такое строение обвально-лавиных тел свидетельствует об их отрыве от места зарождения на склонах в результате сейсмического удара и о дальнейшем перемещении обвальных масс с большой скоростью по близгоризонтальным поверхностям аллювиальных террас и речных долин, по-видимому, на «воздушной подушке» в основании каменной лавины. Это характерно для сейсмогенных склоновых образований [Геодинамика..., 2001]. Гирлянды блок-оползней на склонах долины реки Баксан, имеющих крутизну 30-40 градусов, возникли в древности в условиях одноактной импульсной подвижки и в дальнейшем уже не смещались. Они как бы повисли на склонах, что также свидетельствует в пользу сейсмогенной природы гравитационных нарушений. Нептунические дайки, выявленные в толщах четвертичных рыхлых отложений свидетельствуют о протрузионном внедрении разжиженного песка в вышележащие толщи под действием сжимающего импульса при прохождении сейсмической волны. Такие явления широко распространены в эпицентральных зонах современных сильных землетрясений в пределах изосейст 8-го и более высоких баллов.

Выделяется, по крайней мере, две генерации вторичных склоновых сейсмодислокаций. Более древние обвалы и оползни в рельефе имеют сглаженный вид, глыбы в обломочном материале на поверхности покрыты пустынным загаром, плотно поросли лишайниками, а на участках, сложенных рыхлым материалом, сформировалась мощная современная почва. Тела этих дислокаций налегают на низкие, 10-ти и 20-ти метровые позднеплейстоценовые надпойменные террасы р. Баксан, в то же время перекрываются конусами выноса аллювиально-пролювиального материала из долин боковых притоков. По-видимому, возраст этих образований отвечает позднему плейстоцену. Более молодые сейсмогравитационные дислокации отличаются более свежим обликом

обвальнo-оползневых масс, отсутствием пустынного загара на крупных обломках, тонкой современной почвой. Они перекрывают 5-ти – 6-ти метровые террасы Баксана и даже достигают поймы. Бывает, что тела таких обвалов перекрываются материалом конусов выноса боковых притоков. Вероятно возраст их ранне-среднеголоценовый. Иногда отмечается перекрытие более древних обвалов молодыми с захоронением палеопочв под обвальными массами последних.

Нептунические дайки, по-видимому, также можно разделить на две генерации. К первой, более древней, можно отнести тонкие (0,5-1,0 см) наклонные дайки, развитые в линзах и прослоях песка в аллювиальных отложениях высоких позднеплейстоценовых 100 и 70-ти метровых террас Баксана в месте впадения его левого притока, р. Кыртык. Интересно, что пески в аллювии более высокой (200 метровой) террасы в этом месте таких нептунических даек не содержат. Более молодые дайки встречены на северном склоне Эльбруса у окончания ледника Уллучиран и на западном склоне горы в верховьях реки Кюкюртлю. На первом участке в слоистой толще флювиогляциальных вулканомиктовых песков и отложениях перекрывающего их лахара отмечены многочисленные полого наклоненные на юг трещины, многие из которых заполнены в прошлом разжиженным песком. Видны следы турбулентного движения (течения) песка внутри даек. Мощность таких даек составляет от 2 до 5 см. Наблюдается относительное взбросо-надвиговое смещение слоев толщи по этим заполненным песком трещинам. То есть нагнетание песка в трещины происходило в условиях близгоризонтального сжатия слоистой толщи. Амплитуда относительных смещений крыльев достигает 2-3 см. Слоистая толща песков и лахаровый горизонт перекрыты с несогласием грубообломочным материалом современной морены. В целом возраст вибрационных образований, очевидно голоценовый, по некоторым данным эти лахаровые отложения могли образоваться 6-7 тыс. лет назад [Геодинамика..., 2001; Катастрофические..., 2002] и позже подверглись сейсмическим сотрясениям и нагнетанию разжиженных песков.

Ранее проведенное радиоуглеродное датирование палеопочвы из под сейсмогенного обвального тела объемом  $3,5 \times 10^6 \text{ м}^3$ , в истоках реки Бейтик-Тебе, показало её возраст  $2520 \pm 60$  лет [Геодинамика..., 2001]. Так что реальность совсем недавних, голоценовых землетрясений, подтверждена независимо.

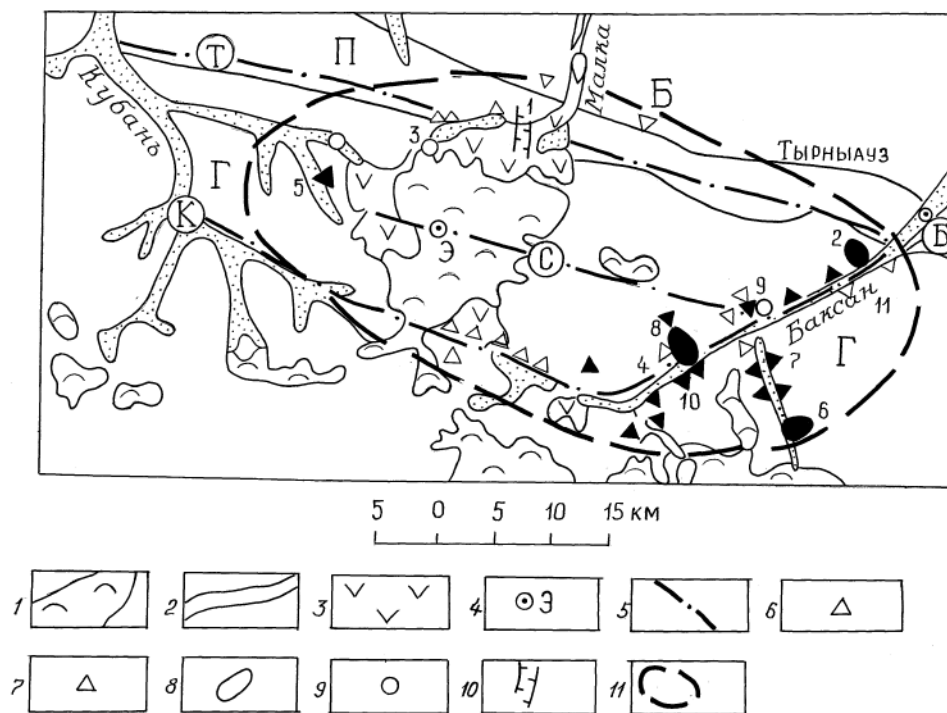


Рисунок 48 - Палеосейсмодислокации области Эльбруса. 1-ледники; 2-долины рек; 3-молодые вулканиты; 4-вершина Эльбруса; 5-новейшие разломы (буквы в кружках – названия: С-Сылтранский, Б-Баксанский, Т-Пшекиш-Тырныаузский, К-Верхнекубанский); 6-10- палеосейсмодислокации: 6-9- вторичные (6-оползни, 7-обвалы, 8-каменные лавины, 9-нептунические дайки); 10-первичные (сейсморазрывы); 11-ареал распространения разновозрастных палеосейсмодислокаций. Большие буквы - тектонические зоны: Г- Главного хребта, П-Передового хребта, Б-Бечасынская.

В целом разнородные по возрасту и природе сейсмодислокации распространены в Приэльбрусье в пределах площади овальной формы, в западной части которой располагаются два вулканических конуса Эльбруса, а длинная ось ориентирована в кавказском, запад-северо-западном направлении. Длинная ось «овала» почти совпадает по положению с зоной Сылтранского разлома, который считается магмаконтролирующей структурой, и к которой приурочены главные вулканические аппараты Эльбруса. Северная граница ареала проходит по северному крылу зоны Пшекиш-Тырныаузского разлома, южная – в среднем течении рек Адылсу (в районе устья Шхельды) и Адырсу (в районе альплагеря

Новый Джайлык). Западная граница «овала» проходит в верхней части горного отрезка долины реки Кубани, восточный не выходит за пределы меридиана поселка Тырнауз.

Таким образом, длина области распространения палеосейсмодислокаций составляет примерно 50-60 км, при ширине 20-25 км. Эта область примерно совпадает с положением ПОЗ, выявленного с помощью сеймотектонического метода. Размеры зоны распространения сейсмодислокаций в целом соответствуют размерам плейстосейстовой области землетрясения с  $M=7,2$  и коровым положением очага [Wells, Coppersmith, 1994]. За пределами описанной овальной области первичные сейсмодислокации и гравитационные склоновые структуры (сейсмогенные или асейсмичные) практически не встречаются на десятки километров.

Проведенные исследования показали, что вулканическая зона Эльбруса является также и потенциально сейсмоопасной областью. Сейсмические и вулканические активизации отмечались здесь неоднократно, как в позднем плейстоцене, так и в голоцене. Большие периоды повторяемости (во многие сотни и даже тысячи лет) сильных землетрясений, свойственные для Кавказского региона в целом [Геодинамика..., 2001; Катастрофические..., 2002; Рогожин, Захарова, 2002], а также катастрофических извержений являются причиной кажущегося спокойствия Эльбруса на современном этапе. Наблюдающееся в настоящее время сейсмическое затишье может быть связано с особыми реологическими условиями земной коры, в средней части которой существует обширный резервуар, заполненный расплавленной магмой.

### **3.4 Концепция модернизации УСУ**

Созданная на базе УСУ КГФИИС КБГУ Северокавказская геофизическая обсерватория функционирует уже более 5-ти лет нет необходимости объяснять, что часть информационно-измерительных систем нуждается в модернизации и замене. Причин здесь несколько:

- основные информационно-измерительные комплексы и приборы, а также компьютерная техника, входящая в состав двух лабораторий, расположенных в горных вырубках на больших глубинах, где условия эксплуатации далеки от идеальных (высокие до 50°С температуры, агрессивная флюидная активность недр в районе над вулканическим очагом) эксплуатируются в условиях, которые являются экстремальными. Так, например, требуют замены стационарные гравиметры и блоки бесперебойного питания.

- полученная новая информация об электромагнитных предвестниках катастрофических сейсмических событиях и вулканической активности требует привлечения к измерениям современной специализированной измерительной техники, разработанной в последние годы ведущими лабораториями как у нас в стране, так и за рубежом.

- практика мониторинга сложных геолого-геофизических и вулканических процессов требует расширения количества специализированных геофизических лабораторий в составе Северокавказской обсерватории.

В свете выше изложенного, концепция по модернизации УСУ должна состоять из трех этапов.

Первый этап – модернизация существующих систем получения сбора и хранения геофизической и сейсмической информации, включая:

- замену шести компьютеров с блоками бесперебойного питания и системами оцифровки первичной информации;
- прокладку волоконно-оптических линий связи для обеспечения благоприятных условий передачи массивов первичных сейсмических данных;
- приобретение специализированного программного обеспечения, приобретение дополнительных лицензий на программное обеспечение общего назначения.

Второй этап связан с приобретением современных информационно-измерительных систем, включая:



- создание современного центра хранения и обработки оперативной информации с использованием серверных аппаратно-программных комплексов (центров обработки данных);

- приобретение и интеграция геофизических информационно-измерительных комплексов для оснащения стационарных и мобильных пунктов наблюдений;

- объединение стационарных и мобильных пунктов наблюдений в единую информационную сеть;

- разработка и внедрение интерактивной системы разноуровневого доступа к данным многодисциплинарного мониторинга с использованием открытых информационных сетей общего назначения.

Третий этап включает подготовку кадров высшей и средней квалификации, способных обслуживать сложные информационно-измерительные системы и вести широкомасштабные научные исследования.

Проведенный предварительный анализ показывает, что на выполнение такой минимальной программы потребуется финансирование в размере около 35 млн. рублей в течение 3 лет.

#### **Глава 4 Экспедиционные работы по установке геофизических приборов входящих в состав УСУ КГФИИС КБГУ**

Учеными ИФЗ РАН, ИЗМИРАН и сотрудниками кафедры ЧС КБГУ была организована экспедиция для проведения геофизических работ и установки уникальных приборов которые входят в состав УСУ КГФИИС КБГУ.

Работы были проведены в лабораториях входящих в состав Комплексной геофизической информационно-измерительной системы КБГУ, на озере Башкоринского ледника, а также в Верхне-Кубанском геодинамическом полигоне ВСЕГИНГЕО.

В лаборатории № 3, которая находится в Нальчике, установлен уникальный прибор SeisMonitor GEOSPACE. Он представляет собой сейсмонитор для применения в сейсмологических, инженерных и научных исследованиях, если существует необходимость в пассивном, низкошумном короткопериодном трехкомпонентном геофоне. Сейсмодатчик состоит из 3-х ортогонально расположенных сейсмометров частотой 1Гц в алюминиевом корпусе и оснащен кабелем длиной 3 метра. Для регистрации и последующей обработки сейсмонитор GEOSPACE подключается к цифровому регистратору типа REF-ТЕК 130.

Цифровой регистратор REF-ТЕК предназначен для местных и региональных сейсмологических исследований, применяется в очаговых зонах землетрясений.

На рисунке 49 представлен общий вид сейсмонитора GEOSPACE подключенный к сейсмическому регистратору REF-ТЕК 130 установленный на постаменте в лаборатории №3.



Рисунок 49 - Сейсмонитор GEOSPACE подключенный к цифровому регистратору REF TEK.

На рисунках 50 и 51 представлены данные полученные с лаборатории №3 по регистрации землетрясения, которая произошла 7 сентября в 22:41 по Гринвичу в Грузии с магнитудой 6,2. Наклонометрическая станция хорошо зафиксировала эти сейсмические события.

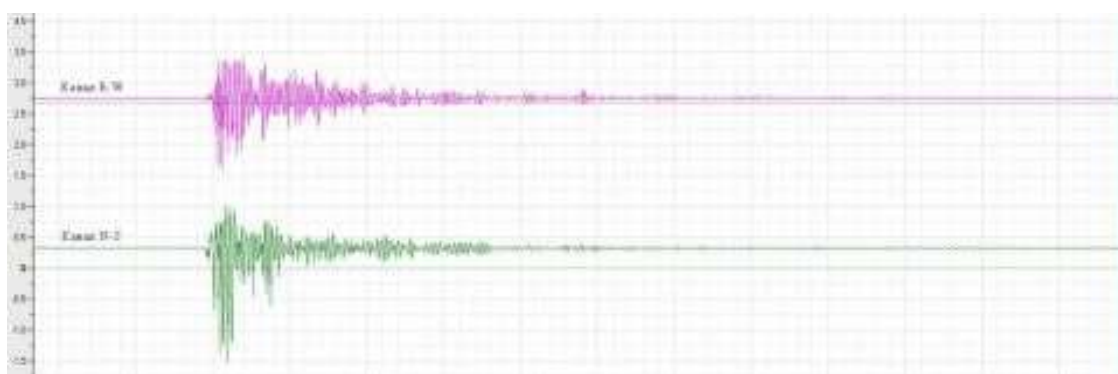


Рисунок 50 - Земные наклоны во время землетрясения 7 сентября 2009 г.

Сейсмограмма полученная с помощью GESPACE представлена на рисунке 50.

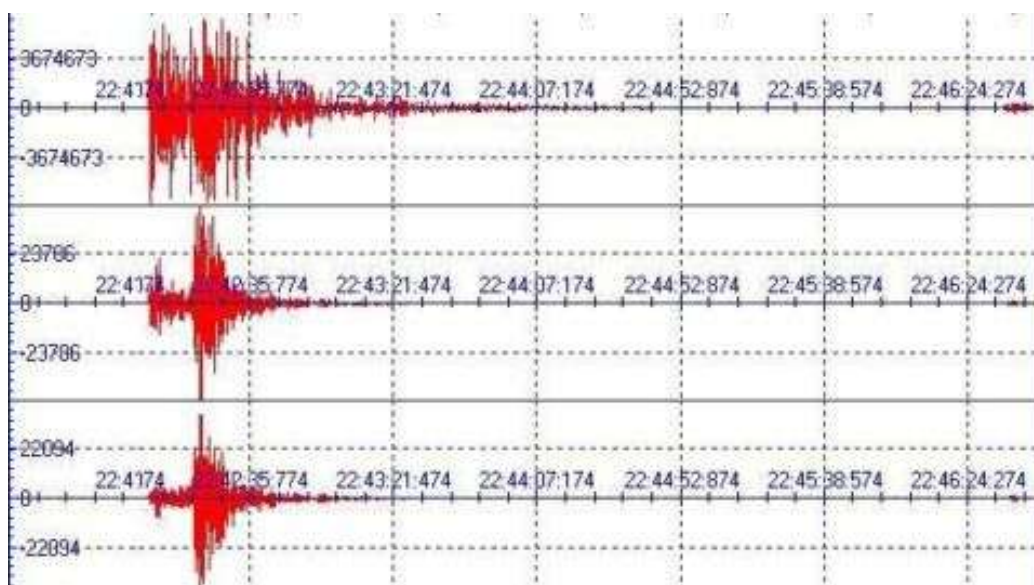


Рисунок 51 - Сейсмограмма землетрясений 7 сентября в Грузии полученная сейсмомонитором GEOSPACE.

Для регистрации местных сейсмических событий в штольне БНО на 15-м пикете также установлен сейсмомонитор GEOSPACE. На 40-м пикете в штольне БНО на глубине более 4000 метров установлены две индукционные магнитометры (рисунок 52).



Рисунок 52 - Индукционный магнитометр для исследования магнитного поля Земли.

Толщина гонных пород на глубине 4000 метров более 2500 метров, поэтому здесь полностью исключаются фоновые шумы.

Во время экспедиции сотрудниками кафедры ЧС КБГУ проведена работа по измерению температурного поля озера Башкоринского ледника. Озеро

располагается на высоте 2574 метров над уровнем море в ущелье Адылсу. Глубина озера в некоторых местах составляет более 30 метров.



Рисунок 53 - Вид ущелья Адылсу с Башкоринского ледника.

В центре озера были установлены температурные датчики для измерения градиента температуры с глубины (рисунок 54). Измерение температуры производилось в течение 6 суток при помощи миниатюрных температурных регистраторов iButton DS1922L-F5.

В Верхне-Кубанском геодинамическом полигоне ВСЕГИНГЕО Министерства природных ресурсов России, который расположен в 30 км к западу от подножья вулкана Эльбрус в пределах развития его батолита были установлены: трехкомпонентная магнитновариационная станция (МВС), наклонометрическая станция и измеритель  $E_z$  компоненты электрического поля. От места расположения полигона к Эльбрусу подходит три ущелья: Худес, Улу-Хурзук, и Улу-Кам, которые выходят в Кубанское ущелье, по которому течет река Кубань.

МВС предназначена для измерения вариаций трех компонент вектора магнитной индукции поля Земли.





Рисунок 54 - Озеро Башкоринского ледника (точкой отмечено место установки датчиков).

Данные полученные с помощью температурных датчиков представлены на рисунке 55.

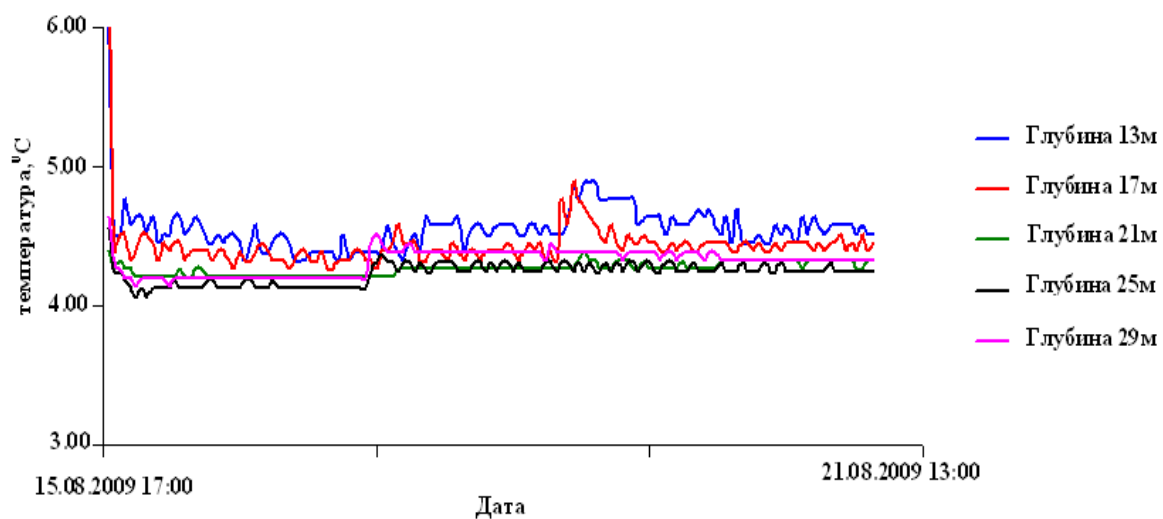


Рисунок 55 - Графики изменения температуры.



Рисунок 56 - Общий вид MBC установленная на постамент.

Для уменьшения воздействия ветра и температуры постамент был огражден деревянным срубом и термоизоляционным материалом. Вся конструкция сделана без использования гвоздей и металлических деталей.

Для уменьшения фоновых шумов станция установлена на удалении от металлических конструкций.





Рисунок 57 - Сруб для постаментов магнитовариационной станции.



Рисунок 58 - Рабочий момент. Настройка аппаратуры.

Для регистрации наклонов земли на полигоне установлена наклонметрическая станция.





Рисунок 59 - Наклонометрическая станция системы Д.Г. Гриднева.

В процессе регистрации и последующей обработки данных с МВС и наклонометрической станции основное внимание сосредоточено:

- на исследовании процессов взаимодействия коры и верхней мантии Земли в сложных геологических условиях Эльбрусского вулканического центра;
- на изучении механизмов, ответственных за генерацию наведенных волновых процессов, возникающих при взаимодействии разломно-блоковых структур и других неоднородных образований в районе вулканической постройки и на прилегающих территориях;
- на регистрации и анализе предвестников разномасштабных геофизических катастроф в районе Эльбрусского вулканического центра и на прилегающих территориях.

На полигоне для измерения электрического поля также установлен измеритель электрического поля.

Для измерения температурных полей в районе полигона была выбрана скважина ВК-11. Абсолютная отметка устья: 1200 м. Глубина скважины: 119,8 м.

Геологическое строение в районе скважины не отличается большим структурным разнообразием. Здесь можно выделить два слоя: первый слой мощностью 24 метра, состоящий из валунов, галечника, щебня, песка; второй слой геологической среды, состоит из кристаллических трещиноватых сланцев протерозоя (рисунок 62).

Установлено, что температурный режим в скважине, которая удалена от выявленных магматических образований в районе Эльбрусского магматического центра более чем на 30 км, находится в пределах нормы ( $30^{\circ}\text{C}$  на километр).



Рисунок 60 - Измеритель  $E_z$  компоненты электрического поля.

Проведенные измерения на скважине подтверждают, что повышенные температуры и зафиксированные температурные градиенты удастся наблюдать только в непосредственной близости от магматической камеры и магматического очага.

Все приборы работают в режиме непрерывного мониторинга геофизических процессов происходящих на территории Эльбрусского вулканического центра. Сбор и хранение данных производится в автоматическом режиме. Для дальнейшей обработки получаемая информация передается в головные управления по каналам связи.



Рисунок 61 - Вид скважины ВК 11 с установленной термокосой.



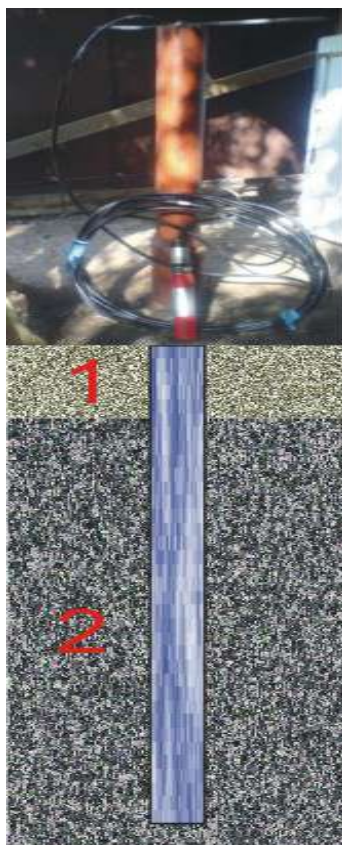


Рисунок 62 - Схема скважины ВК 11.



Рисунок 63 - Общий вид Верхне-Кубанского полигона ВСЕГИНГЕО.

## **Глава 5 Совершенствование и развитие материально-технической базы. Приобретение современных приборов и научного оборудования. Широкополосные сейсмоприёмники GURALP**

### **5.1 Программа развития УСУ «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система Кабардино–Балкарского государственного университета» (КГФИИС КБГУ) на 2009-2010 годы**

Концепция развития УСУ «КГФИИС КБГУ», рассмотрена и утверждена на заседании Научно совета Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (КБГУ) (протокол №13 от 14 сентября 2009г.).

Концепция сформирована в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и техники Российской Федерации на 2007-2012 и в соответствии с Концепцией долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2025 года. Основная цель концепции – формирование системы взглядов на основные проблемы, стоящие перед Российской Федерацией и ее научно-образовательными центрами, и выбор приоритетных направлений.

Выход Российской Федерации на новый технический и технологический уровень сегодня в области снижения риска и уменьшения природных и техногенных катастроф, рационального природопользования, энергетики и энергосбережения могут обеспечить новейшее специализированное оборудование и технологии, полученные в результате поисковых и поисково-фундаментальных научно-исследовательских работ. Созданная на базе НИР продукция, может и должна отвечать следующим основным критериям: мировой новизны и конкурентоспособности.

Основной замысел концепции научно-образовательного центра пользования научным оборудованием УСУ «КГФИИС КБГУ» формулируется в следующем виде: содействие и проведение приоритетных, фундаментальных и поисковых научно-исследовательских работ и их приборное обеспечение. Главные научные

направления научно-исследовательских работ, а также инновационной деятельности КБГУ определяются с учетом экономических и ресурсных возможностей Федерации, юга России и вуза и соответствуют профилю подготовки специалистов в университете.

Формирование УСУ КГФИИС КБГУ и оснащение его материально-технической базы позволило создать условия для проведения поисково-фундаментальных исследований, предоставило возможность широкому кругу ученых научных школ и научных коллективов проводить исследования на современном научном оборудовании с использованием передовых методик.

Регулярно ведутся научно-исследовательские и поисковые работы на территории Северного Кавказа, включая и район Эльбрусского вулканического центра. Ежегодные экспедиции и эпизодическое изучение сейсмического режима в регионе позволили сформулировать методологию мониторинга. Предполагается, что в процессе выполнения научной работы будут получены фундаментальные результаты, отражающие состояние внутреннего строения этой области, что позволит производить своевременную расшифровку геофизической информации, получаемой уникальными аппаратным оборудованием «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ)».

Имеется теоретический задел: комплексные геолого-геофизические исследования в пределах Эльбрусского вулканического центра, включавшие и палеосейсмические технологии, позволили выявить ряд землетрясений и вулканических событий, отражающих отдельные периоды в жизни вулкана Эльбрус. Выявлена и откартирована крупная (17х14 км) Эльбрусская кальдера обрушения. Установлены следы катастрофических эксплозивных извержений Эльбруса, сопровождавшихся аэральным переносом пирокластического материала на значительные расстояния. Определены временные этапы активности вулкана Эльбрус.

На текущем этапе развития УСУ «КГФИИС КБГУ» стоят задачи:

- обеспечить высокую эффективность использования современных исследовательских комплексов уникального оборудования за счет их оптимальной загрузки, создания условий для проведения научных исследований;

- дооснащение уникальной установки «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ)» современными геофизическими информационно-измерительными системами, отражающими структуру аномальных явлений в атмосфере изучаемого региона.

Численность специалистов, работающих на УСУ и обслуживающих ее: 23 в том числе: докторов наук – 5, кандидатов наук – 9, аспирантов – 6,.

Количество публикаций в 2006-2008 годах, подготовленных по результатам работы на УСУ (монографии, статьи в ведущих научных журналах, статьи в зарубежных изданиях, доклады) – 49.

Главные преимущества УСУ КГФИИС КБГУ и сопоставление ее параметров с мировыми аналогами: мониторинг геофизических процессов в районе Эльбрусского вулканического центра. УСУ состоит из 27 уникальных приборов, некоторые из них не имеют аналогов. Размер площадей для эксплуатируемой УСУ - 281 кв. м.

Направления научных исследований на УСУ: Развитие комплексной геофизической информационно-измерительной системы КГФИИС КБГУ:

- создание специализированных научных, технологических приемов анализа комплексной геофизической и сейсмологической информации;
- изучение сейсмической и вулканической активности;
- уточнение глубинного строения земной коры в районе Эльбрусского вулканического центра.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники, критические технологии, к которым относятся результаты научных исследований на УСУ – снижение риска и уменьшения последствий природных и техногенных катастроф, рациональное природопользование, энергетика и энергосбережение.

Количество организаций-пользователей УСУ за последние 3 года (по годам):

2007 год – 5 организаций;

2008 год – 12 организаций;

2009 год – 14 организаций:

- Министерство промышленности, топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Кабардино-Балкарской Республики.
- Государственное Управление Министерства Чрезвычайных Ситуаций России по Кабардино-Балкарской Республике (ГУ МЧС России по КБР), г.Нальчик
- Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. Москва
- Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН), Москва
- Институт физики земли РАН им. О.Ю.Шмидта (ИФЗ РАН), Москва
- Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН (БНО ИЯИ РАН), КБР, Приэльбрусье
- Геофизическая служба РАН (ГС РАН), г. Обнинск.
- Кабардино-Балкарский научный центр РАН (КБНЦ РАН), г.Нальчик
- Высокогорный геофизический институт (ВГИ) Росгидромета, г.Нальчик.
- Центр астрологических и медико-биологических проблем РАН, КБР, Приэльбрусье.
- Институт земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН).
- Федеральная пограничная служба России по Кабардино-Балкарской Республике.
- Институт географии РАН (ИГ РАН), г. Москва.
- Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), г. Москва

Услуги оказываемые организациям:

- предоставление специализированных геофизических установок для получения экспериментальных результатов в интересах получения новых знаний;
- предоставления данных о сейсмической опасности регионов Северного Кавказа;



- предоставление данных о глубинном строении вулкана Эльбрус.

В результате выполнения работ по проекту предполагается расширение перечня услуг, предоставляемых научным организациям, заинтересованным в использовании оборудования УСУ «КГФИИС КБГУ» для проведения собственных научных исследований за счет включения услуг по вновь разработанным и приобретенным методикам.

Также предусматривается:

- постоянное обновление интернет-сайта, содержащего сведения о научных направлениях деятельности, исследовательских возможностях УСУ;
- подготовка и проведение научных семинаров и конференций по формированию и развитию УСУ;
- издание буклетов с информацией о Научно-образовательном центре, с целью предоставления информации об имеющихся приборах;
- создание совместных научно-исследовательских лабораторий с предприятиями и организациями Кабардино-Балкарской Республики, Российской Федерации с предоставлением демонстративных образцов оборудования лидирующих фирм-производителей.

В рамках научно-методической деятельности осуществляются работы по расширению спектра услуг по подготовке и переподготовке научных кадров:

- подготовка кадров высшей квалификации – кандидатов и докторов наук: предполагаются защиты кандидатских диссертаций в 2009-2011 гг. – не менее 5.
- подготовка резерва для поступления в аспирантуру 10 человек;
- подготовка, переподготовка и повышение квалификации специалистов в области геофизики, сейсмологии, геохимии, вулканологии, геологии.
- регулярное повышение квалификации сотрудников лаборатории;
- научно-методическое обеспечение учебного процесса: предоставление студентам возможности выполнять лабораторные работы спецпрактикума, курсовое и дипломное проектирование с использованием оборудования УСУ «КГФИИС КБГУ».

### **5.1.1 Совершенствование и развитие материально-технической базы. Приобретение современных приборов и научного оборудования. Широкополосные сейсмоприёмники GURALP**

Магнитометры Gem Systems.

Компания GEM Systems – надежный поставщик магнитометров, градиентометров и магнитных датчиков, используемых для разведки полезных ископаемых в геофизике и геологии.

Квантовые магнитометры - приборы, в основе работы которых лежит вращение субатомных частиц (ядра и неспаренных валентных электронов). Вследствие поляризации частицы прецессируют в магнитном поле земли, как результат, частота прецессии преобразуется в измеренное магнитное поле. Результаты измерений скалярны (общая напряженность поля), в противоположность к векторным измерениям (феррозондовые геофизические приборы или Suspended dIdD компании GEM Systems).

В отличие от феррозондовых магнитометров или dIdD, показывающие вектор, результаты измерений в квантовых магнитометрах скалярны.

Компания GEM Systems лидирует в области разработки квантовых магнитометров, включая

- магнитометры на эффекте Оверхаузера;
- протонные магнитометры;
- квантовые магнитометры с оптической накачкой паров калия (K-Mag);
- магнитометры для авиаразведки.

Протонный магнитометр/градиентометр производства GEM Systems является самой современной системой в своем классе. Магнитные датчики предназначены для широкого спектра применений.

Компания GEM Systems производит оборудование с встроенной GPS, обладающее высокой точностью позиционирования.

Проверенные технологии GEM Systems подтверждаются большим количеством проведенных исследований в 90 странах мира.

Датчики радона Algade.

Сейсмические регистраторы типа «REFTEK» и «УГРА».

Программное обеспечение для системы регионального мониторинга.

WSG.

WinPOS.

PowerGraph.

Программное и аппаратное обеспечение центра обработки многопараметрической геофизической информации.

Коммуникационное оборудование Altegro.

Разработка и создание элементов системы регионального мониторинга.

Стационарные пункты наблюдений/сбора многопараметрической информации.

Мобильные комплексы быстрого реагирования для выполнения оперативных геолого-геофизических полевых работ.

Подготовка научных кадров и инженерно-технического персонала.

Разработка курсов лекций и практических занятий с целью подготовки специалистов необходимой квалификации для работы на точках сбора данных и в центре обработки.

Вопросы повышения квалификации.

Организация ежегодных конференций.

Зарубежные стажировки специалистов КБГУ в геофизические центры Англии, Италии и Германии.

### **5.1.2 Дооснащение специализированным оборудованием УСУ КГФИИС КБГУ**

В числе специализированного оборудования, которое может быть использовано в задачах прогнозирования природных и техногенных катастроф на территории Республики Кабардино-Балкария и в прилегающих регионах по мнению исполнителей следует в первую очередь включить закупку

Геофизический комплекса GI-MTS-1. Изготовитель СПбФ ИЗМИРАН (Мучной пер., 2, 191023, п/я 188, С.-Петербург, Россия. Phone: +7 (812) 310 52 32, Fax: +7 (812) 310 50 35. Email: [galina@gh5667.spb.edu](mailto:galina@gh5667.spb.edu). Санкт-Петербург.

Остановимся кратко на основных характеристиках геофизического комплекса

### 5.1.3 Геофизический комплекс GI-MTS-1

#### Назначение геофизического комплекса GI-MTS-1.

GI-MTS-1 предназначен для проведения измерений магнитного, электрического поля и сейсмических колебаний. GI-MTS-1 позволяет регистрировать в цифровом виде три взаимно-ортогональные компоненты переменного магнитного поля, три компоненты электрического (теллурического) поля и три компоненты сейсмических колебаний в диапазоне частот от 0 до 8 Гц.

#### Состав геофизического комплекса GI-MTS-1.

На рисунке 64 показан состав геофизического комплекса GI-MTS-1.

В таблице 7 приведены некоторые параметры комплекса:

Таблица 7

Потребляемая мощность	1.8 Вт
Напряжение питания	Постоянное напряжение 12В
Рабочий диапазон температуры внешней среды	-20° до +50°С
Вес прибора (без аккумулятора)	6,5 кг

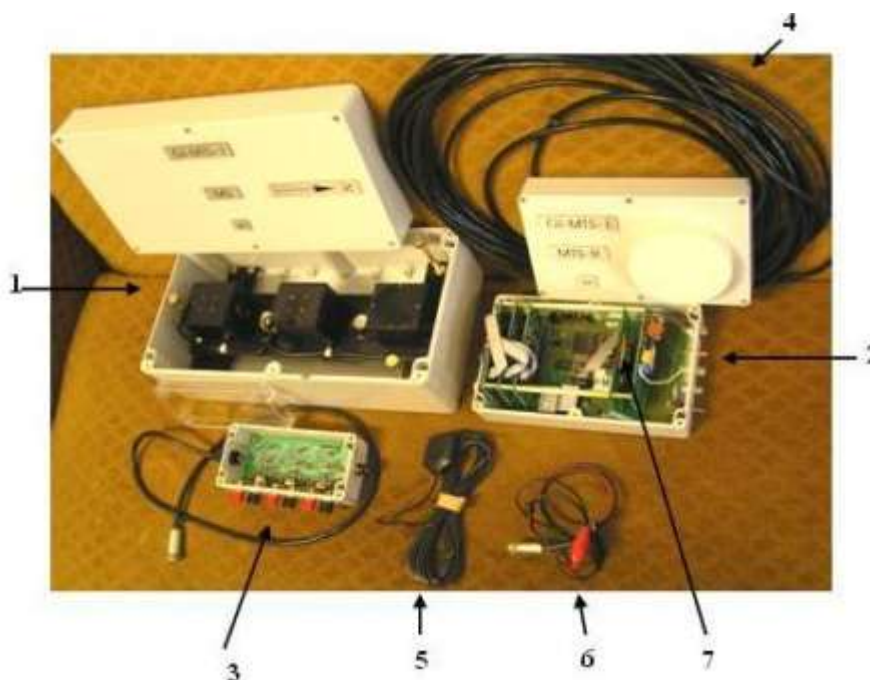


Рисунок 64 - Состав геофизического комплекса GI-MTS-1.

1 – блок магнитных датчиков MS; 2 – регистратор MTS-R, включающий приемник GPS; 3 – блок аналоговых фильтров AF; 4 – кабель, соединяющий блоки MS и MTS-R, длиной 15 м; 5 – антенна GPS; 6 – кабель питания 12 В; 7 – компакт флэш-карта (до 2 Gb).

## Назначение и работа отдельных частей комплекса GI-MTS-1.

### Блок магнитных датчиков MS.

Блок магнитных датчиков MS (рисунок 65) предназначен для преобразования трех взаимно-ортогональных компонент переменного магнитного поля ( $H$ ,  $Z$ ,  $D$ ) в электрические сигналы. В состав блока MS входят три идентичных однокомпонентных магнитостатических магнитометра торсионного типа.

Каждый магнитный датчик содержит сменную капсулу с магниточувствительным элементом (измерительный магнит с зеркальцем, подвешенный на кевларовой нити), которая может быть оперативно заменена в случае неисправности магниточувствительного элемента. Все элементы блока MS (за исключением измерительного, компенсирующих и подстроечного магнитов) выполнены из немагнитных материалов. Все три магнитных датчика 1 (рисунок 65) расположены один за другим на плоской подставке. Для защиты магнитных датчиков от внешних механических воздействий во время транспортировки предусмотрено арретирование винтами 2 (рисунок 65). Разъем 3 (рисунок 64)

служит для связи блока магнитных датчиков с цифровым регистратором 2 (рисунок 64) через кабель 4 (рисунок 64). Три винта 5 (рисунок 65) служат для горизонтальной установки датчиков по уровню 4 (рисунок 65).

Выставка «нулевого» уровня каждого из магнитных датчиков осуществляется в две ступени: грубая – неподвижными компенсирующими магнитами, установленных в пакеты вкладышей 6 (рисунок 65), точная – вращением ручек для изменения положения поворотных подстроечных магнитов 7 (рисунок 65). Компенсирующие магниты осуществляют компенсацию большей части постоянной составляющей магнитного поля Земли, их номинал выбирается заранее для конкретного региона измерений. Для компоненты D выставка «нулевого» уровня осуществляется только подстроечным магнитом, компенсирующие магниты не устанавливаются. В представленном комплексе используются два типа компенсирующих магнитов – SmCo и «викаллой» FeVCo, имеющие соответственно отрицательный и положительный температурные коэффициенты. При их установке по разные стороны от измерительного магнита происходит взаимная компенсация температурного дрейфа всей магнитной системы датчика.

В каждом датчике осуществляется фотоэлектрическое преобразование угла поворота измерительного магнита в напряжение, прямо пропорциональное изменению магнитного поля. Затем сигнал поступает на аналоговый предусилитель с отрицательной обратной связью по магнитному полю. Выход аналогового сигнала на АЦП MTS-R происходит после НЧ фильтра Баттерворта 6 порядка с частотой среза 8 Гц. Параметры блока магнитных датчиков приведены в таблице 8.

Таблица - 8

Тип магнитометра	Торсионный, 3 ортогональные оси
Частотный диапазон измерений	0–8 Гц
Среднеквадратичное значение уровня собственного шума на	$\leq 1$ пТл

частоте 1 Гц	
Коэффициент трансформации в цифровой код:	
H компонента	4800 бит/нТл
D компонента	4800 бит/нТл
Z компонента	4800 бит/нТл
Динамический диапазон измерений индукции магнитного поля:	
H компонента	$\pm 1800$ нТл
D компонента	$\pm 1800$ нТл
Z компонента	$\pm 1800$ нТл
Аналоговый выход датчиков	$\pm 3$ В
Температурный дрейф	$\leq 2,0$ нТл/ $1^{\circ}\text{C}$

Примечание - Коэффициенты трансформации и динамические диапазоны измерений могут несколько отличаться (не более, чем на 10%) от значений, в зависимости от конкретного магниточувствительного элемента датчика.

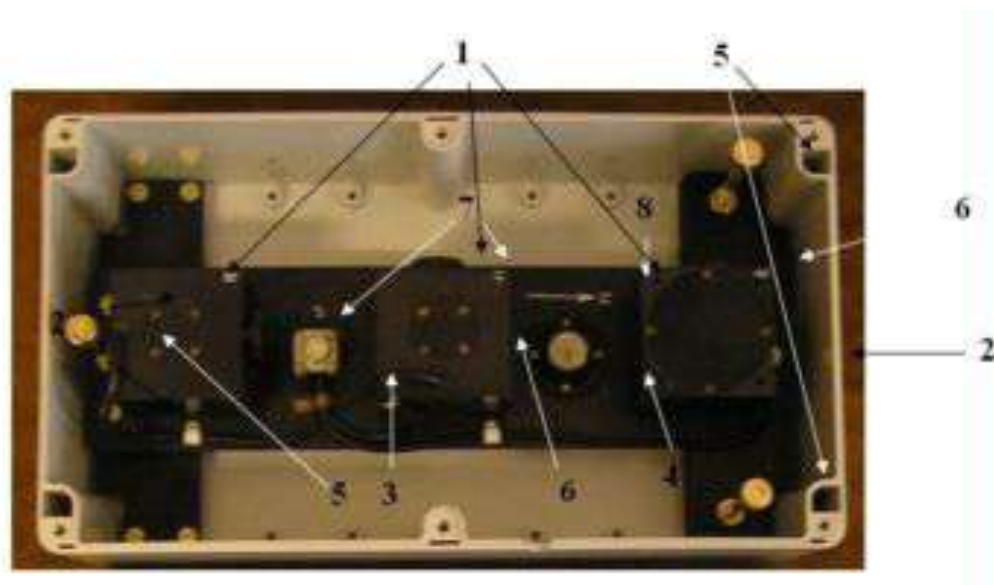


Рисунок 65 - Блок магнитных датчиков MS (со снятой верхней крышкой).

1 – магнитные датчики (H, D, Z); 2 – крепежные винты (используются только при транспортировке прибора); 3 – разъем для кабеля (4 на рисунке 64); 4 – уровень; 5 – винты для горизонтальной установки датчиков по уровню; 6 – неподвижные компенсирующие магниты; 7 – ручки для вращения подстроечных магнитов; 8 – стрелка, указывающая направление на геомагнитный север.

#### 5.1.4 Цифровой регистратор MTS-R для записи и хранения магнитных, теллурических и сейсмических данных

##### Назначение.

Устройство MTS-R (рисунки 66–68) предназначено для проведения комплексных геофизических исследований в полевых условиях. Оно позволяет проводить автономные наблюдения одновременно тремя трехкомпонентными датчиками. К устройству могут быть подключены магнитные датчики, теллурические линии и сейсмические датчики.

Устройство MTS-R обеспечивает:

- измерение геофизических параметров с помощью различных датчиков;
- сбор и хранение полученной информации;
- передачу информации в удаленный центр сбора и оперативной обработки геофизической информации.

В таблице 9 приведены некоторые параметры устройства:

Таблица - 9

Состав	24-bit ADC7714, GPS, MSP-430, Modem MT2456SMI
Хранение данных	Compact flash card (1 or 2Gb)
Частота дискретности записываемых данных	50 или 60 Hz
Точность привязки по времени	$<10^{-4}$ с
Входные каналы (дифференциальные)	3 магнитных, 3 теллурических, 3 сейсмических
Аналоговые входы АЦП24 (все 9 каналов)	$\pm 3$ В

##### Состав.

Устройство MTS-R разработано по модульному принципу и состоит из:

- Основной платы – ядра системы;
- До трех модулей аналого-цифровых преобразователей (АЦП);
- Модуля Compact Flash накопителей;
- Модуля интерфейса управления;



- Модуля удаленного доступа.

Упрощенная блок-схема MTS-R представлена на рисунке 66.

В комплект MTS-R входит также внешний anti-alias (противоподменный) фильтр, имеющий характеристики аналогичные фильтру магнитного датчика.

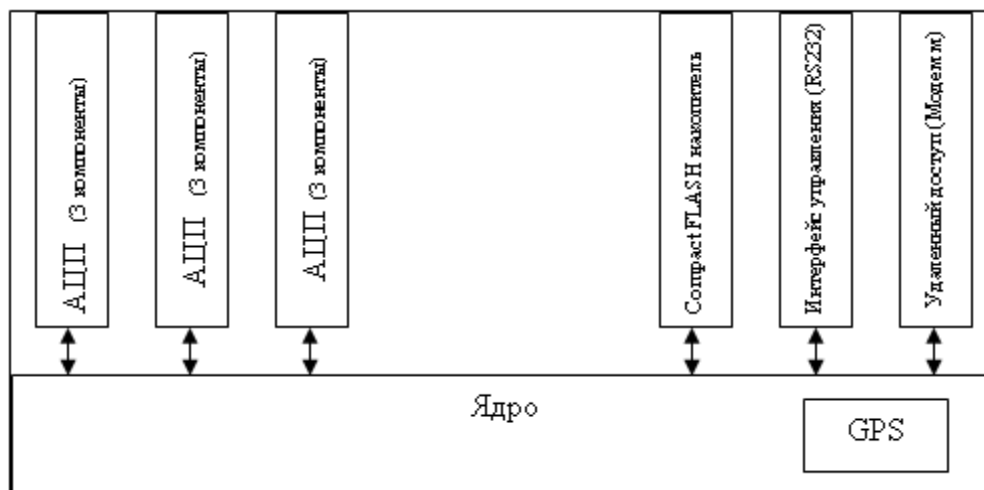


Рисунок 66 - Упрощенная блок-схема MTS-R.



Рисунок 67 - Цифровой регистратор MTS-R.

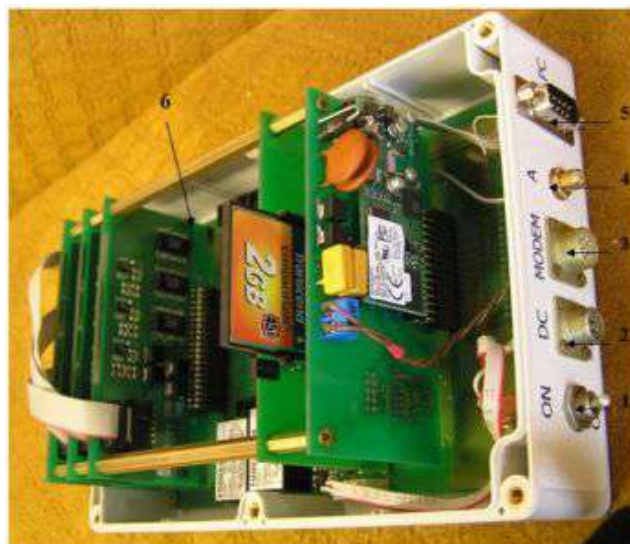


Рисунок 68 а - Цифровой регистратор MTS-R (вид справа). 1 – тумблер включения MTS-R; 2 – разъем для кабеля питания (6 на рисунке 64) от аккумулятора 12 В; 3 – разъем для модема; 4 – разъем для антенны GPS; 5 – разъем для стандартного кабеля, соединяющего MTS-R и компьютер; 6 – компакт-флэш карта 2 Gb.

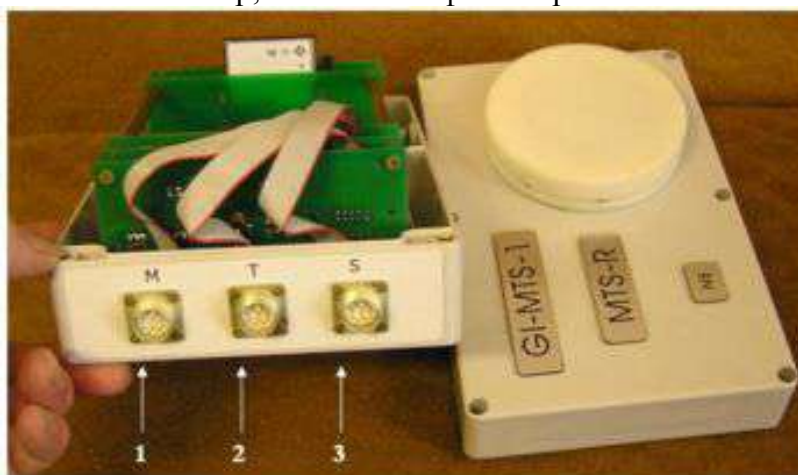


Рисунок 68 б - Цифровой регистратор MTS-R (вид слева).  
1 – разъем для подключения магнитных датчиков кабелем (4 на рисунке 64);  
2 – разъем для подключения блока аналоговых фильтров (3 на рисунке 64);  
3 – разъем для подключения 3-х сейсмических датчиков.

## Описание модулей устройства mts-r.

### Ядро.

Ядро является центральным модулем Устройства и обеспечивает совместную работу всех модулей. Оно построено на основе сверх экономичного микропроцессора MSP430, имеет буферную FLASH память объемом от 16М до 512М. Ядро обеспечивает синхронизацию измерений с UTC с помощью экономичного управляемого кварцевого термо-компенсированного генератора частоты корректируемого GPS приемником. Для уменьшения помех и

обеспечения лучшего приема применяется внешняя GPS антенна. Ядро позволяет подключать до трех модулей АЦП, одного модуля Compact Flash накопителя, модуля удаленного доступа и модуля управления. Каждый модуль подключается с помощью разъема и может быть легко заменен.

#### Модуль АЦП.

Модуль АЦП обеспечивает подключение одного трехкомпонентного устройства и содержит три 24 разрядных АЦП по одному на каждую компоненту. Каждое АЦП имеет дифференциальный вход с входным предусилителем. Предполагается использование внешнего аналогового Anti-Alias фильтр. При подключении магнитного датчика, anti-alias фильтр уже включен в состав магнитного датчика. Для подключения других датчиков, в комплект входит внешний аналоговый anti-alias фильтр с аналогичными характеристиками (3 на рисунке 64). АЦП обеспечивает режекцию сигнала на частоте дискретизации на уровне 100dB. Частота дискретизации равна 50Hz или 60Hz в зависимости от частоты сети электропитания. Внешний anti-alias фильтр также содержит систему защиты от молний. Модуль АЦП обеспечивает датчики питанием  $\pm 5V$  и  $+12V$ .

#### Модуль Compact Flash накопителя.

Модуль имеет одно (два) гнезда для установки Compact Flash карт. В этой версии могут использоваться карты объемом до 2Gb. Запись производится в формате FAT16.

#### Модуль удаленного доступа.

Модуль предназначен для удаленного доступа к Устройству. В данном комплекте он реализован на встроенном модеме V.92, поддерживающего IP протокол (интерфейсы PPP, FTP клиент, HTTP сервер, POP3, SMTP, TSP/IP). Модуль позволяет из удаленной точки получать данные, информацию о состоянии Устройства, управлять Устройством. Для связи с Устройством используются программа RMView под управлением Windows XP или стандартные программы (в ограниченном объеме).

#### Модуль интерфейса управления.

Модуль предназначен для подключения внешнего компьютера для конфигурации и управления Устройством и для настройки датчиков. Подключение внешнего компьютера осуществляется по последовательному интерфейсу RS232. При этом связь компьютера и Устройством обеспечивает программа RMView под Windows XP.

### **Режимы работы.**

В процессе работы Устройство может находиться в двух режимах: настройки и постоянной работы.

Режим настройки используется для установки датчиков и Устройства и подготовки сбора информации. В этом режиме к Устройству подключается внешний компьютер. На компьютере запускается программа связи с Устройством RMView. Данная программа позволяет выполнить настройку Устройством. Также она обеспечивает визуализацию измеряемых сигналов для установки и настройки датчиков.

После окончания установки/настройки внешний компьютер отключается, и Устройство переходит в режим постоянной работы. В этом режиме устройство производит измерение геофизических параметров, сбор, хранение данных и удаленный доступ/передачу информации. В зависимости от параметров электропитания Устройство может работать в полном режиме или режиме энергосбережения. Режим энергосбережения отличается от полного режима графиком работы модулей, главным образом модуля удаленного доступа. В этом режиме модем и другие модули периодически отключаются и включаются.

### **Спецификация.**

Механические характеристики:

Размер - 220 x 170 x 100; Вес - 1,5 кг;

Рабочая температура - от -20° С до +50°С.

Разъемы:

Каналы датчиков - РС–10ТВ;

Питание - РС-7ТВ;

GPS антенна - SMA;

Телефон - РС-4ТВ;

Последовательный порт - DB-9 (male).

Питание:

Напряжение - DC 12 V;

Потребляемая мощность -  $< 1.2 \text{ W}$ .

Характеристики модуля АЦП:

Тип - Сигма-дельта, 24 бит;

Количество - три АЦП, по одной АЦП на каждую компоненту;

Коэффициент усиления - 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128;

Входной импеданс - от 10Kohm до 3Mohm в зависимости от назначения;

Шкала измерений -  $\pm 2\text{V} @ \times 1$ ;

Уровень шума (RMS) - 4 uV @  $\times 1$ ;

Частота дискретизации - 50/60 Hz (в зависимости от частоты АС);

Anti-Alias фильтр;

Тип - Баттерворт 6-го порядка;

Частота - 8Hz.

Привязка по времени:

Тип - Управляемый генератор частоты с коррекцией по GPS приемнику;

Точность(с коррекцией) -  $\pm 1 \text{ ms}$ ;

Точность (без коррекции) - 0,5 ms/s.

Связь:

Телефон - TCP/IP, PPP, FTP (клиент), POP3, SMTP, HTTP (сервер) ;

Последовательный порт - RS232 (протокол программы под Windows XP);

Запоминающее устройство:

Тип - одна (две) Compact Flash карта;

Объем - до 2 Gb (4 Gb);

Формат - FAT16.

### **Блок аналоговых фильтров АФ.**

На рисунке 69 представлен блок аналоговых фильтров АФ, предназначенный для подключения трех теллурических линий (каналы Ex, Ey, Ez). Красные клеммы – «плюс», черные клеммы – «минус». Фильтры идентичны фильтрам, расположенным в магнитных датчиках (0–8 Гц) и имеют коэффициент усиления 10.

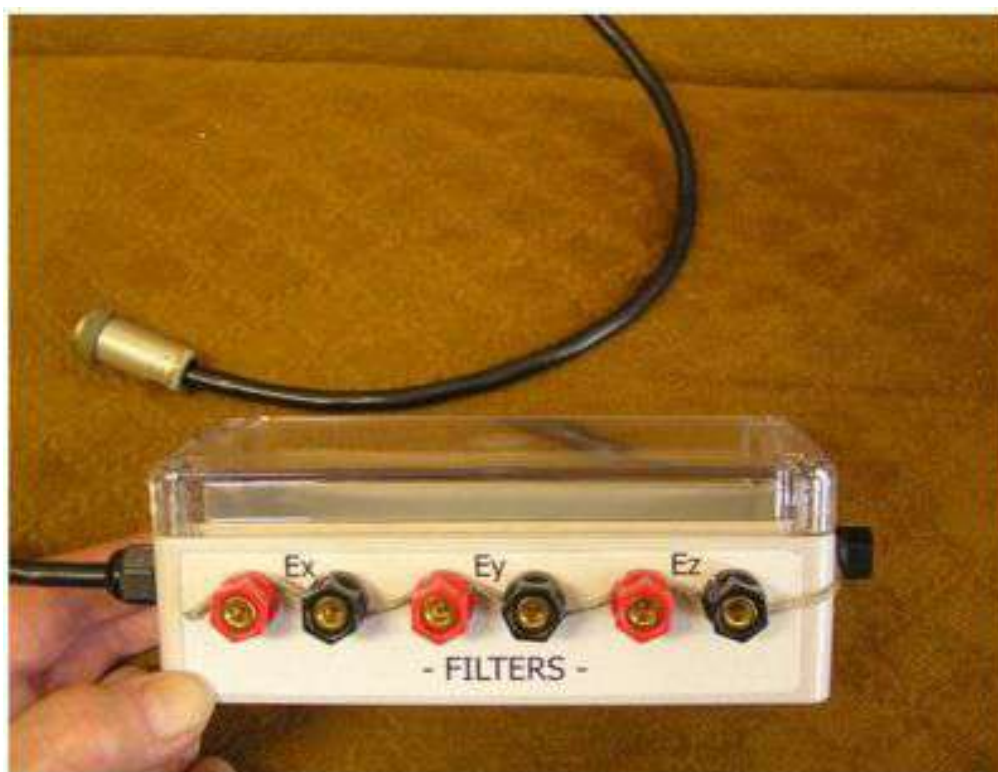


Рисунок 69 - Блок аналоговых фильтров (АФ).  
1 – разъем для контакта с грунтом.

### **Установка, настройка и включение комплекса.**

Если проведена предварительная настройка H, D и Z датчиков блока MS на магнитной обсерватории, расположенной на расстоянии не более 300 км от места проведения работ, то на точке измерения датчик D можно использовать как нуль-индикатор для ориентировки блока MS по магнитному меридиану. В противном случае необходимо использовать магнитную буссоль. После предварительной настройки блока MS на магнитной обсерватории датчик D перестраивать нельзя!

1. На точке измерений сделать в грунте углубление размером 400×400×300 мм и засыпать дно слоем песка ~100 мм.
2. Подсоединить кабель 4 (рисунок 64) к разъему 3 (рисунок 65).
3. Плотнo установить блок магнитных датчиков на дно углубления таким образом, чтобы стрелка 8 (рисунок 65) была направлена на магнитный север (использовать магнитную буссоль).
4. Снять крепежные винты 2 (рисунок 65) и с помощью винтов 5 (рисунок 65) вывести уровень 4 (рисунок 65) в нулевое положение.
5. Соединить кабель 4 (рисунок 64) к разъему 1 Блока MTS-R (M, рисунок 68 б). Блок MTS-R устанавливается на расстоянии 5 – 15 м от магнитных датчиков.
6. Соединить кабелем блок аналоговых фильтров (рисунок 69) и разъем 2 (рисунок 68 б) на блоке MTS-R.
7. Присоединить теллурические линии к разъемам E<sub>x</sub>, E<sub>y</sub>, E<sub>z</sub> на блоке аналоговых фильтров (рисунок 69) и соединить грунт с клеммой 1 (рисунок 69)
8. Соединить кабелем сейсмические датчики (не входят в состав комплекта GI-MTS-1) и разъем 3 (S, рисунок 68) на блоке MTS-R.
9. Соединить стандартным кабелем (входит в состав комплекта GI-MTS-1) разъем 5 на блоке MTS-R (PC, рисунок 68 а) и компьютер. Установить тумблер 1 в положение OFF.
10. Соединить кабелем 6 (рисунок 64) аккумуляторы и разъем 2 на блоке MTS-R (DC, рисунок 68 а). Красный конец кабеля – «плюс», черный – «минус».
11. Установить антенну GPS и соединить ее с разъемом 4 на блоке MTS-R (A, рисунок 68 а).
12. Открыть крышку блока MTS-R (рисунок 67) и вставить компакт флэш-карту в гнездо, закрыть крышку.
13. Включить компьютер.
14. Установить тумблер 1 (рисунок 68 а) в положение ON, при этом геофизический комплекс GI-MTS-1 начинает работать. После того, как GPS приемник, расположенный в Блоке MTS-R, примет сигналы одновременно от трех

навигационных спутников, начинается запись данных на флэш-карту, также расположенную в Блоке MTS-R.

15. Для настройки магнитных датчиков запустить на компьютере программу MTS-Control. Установить на компьютере окно, показывающее изменения магнитного поля (H, D, Z компоненты) со временем.

16. Вращением ручек 7 блока MS (рисунок 65) установить «нулевые» уровни компонент магнитного поля. Вращать ручки 7 очень медленно! Если в процессе подстройки происходит выход магнитного датчика за диапазон измерений – изменить направление вращения на противоположное.

17. Выключить компьютер.

18. Через 1 – 2 дня повторить настройку блока магнитных датчиков MS по нулю уровня и подстройку нулевых уровней компонент магнитного поля.

19. Все приборы должны быть защищены от прямых солнечных лучей, атмосферных осадков и пыли. Мы рекомендуем устанавливать Блок магнитных датчиков MS, Блок аналоговых фильтров AF и устройство MTS-R в герметичные контейнеры, изготовленные из немагнитного материала. В контейнере с магнитными датчиками должно также находиться вещество, поглощающее влагу (силикагель).

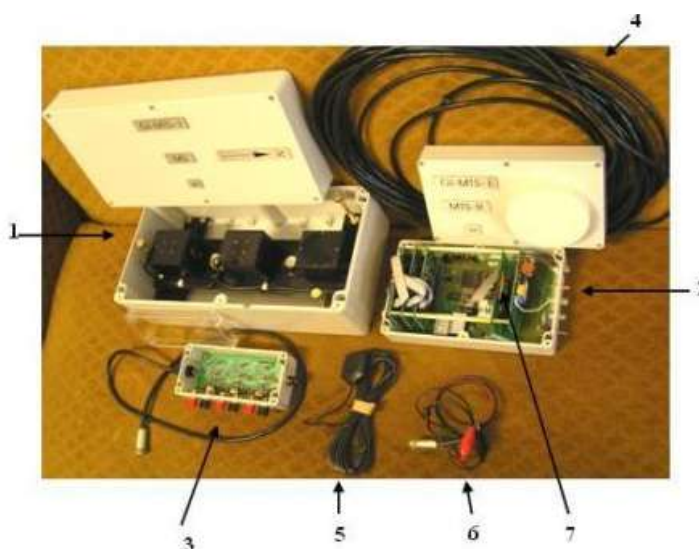
Оснащение основных лабораторий тремя станциями позволит не только предсказывать заранее о готовящейся сейсмической катастрофе. При создании соответствующих программ станет возможным с заданной вероятностью и вычисляемой среднеквадратической ошибкой определять время и район будущей сейсмической катастрофы.

### **5.1.5 Геофизический комплекс «ОЧАГ-1»**

Геофизический комплекс «Очаг-1» состоит из шести высокочувствительных цифровых станций GI-MTS-1 производства СПбФ ИЗМИРАН (рисунок 70).



- используется новый пассивный метод наземной УНЧ магнитной локации для определения местоположения источников УНЧ электромагнитных возмущений и обнаружения краткосрочных предвестников сильных землетрясений;
- измеряются вариации магнитного поля и теллурических токов в УНЧ диапазоне ( $10^{-4}$  – 10 Гц), а также сейсмические колебания одновременно в двух пунктах на земной поверхности, разнесенных на расстояние 50 – 150 км;
- в каждом пункте используются три установки GI-MTS-1 (магнитный градиентометр), разнесенных на расстояние 2 – 10 км и измеряющие вариации магнитного поля, теллурические токи и сейсмические колебания;
- нет аналогов в мировой практике, имеются только предварительные научные разработки (Россия, Япония).



- Рисунок 70 - Цифровая высокочувствительная станция GI-MTS-1.

1 – блок магнитных датчиков (MS); 2 – цифровое устройство (MTS-R) для записи и хранения магнитных, теллурических и сейсмических данных; 3 – блок аналоговых фильтров (AF); 4 – кабель, связывающий MS и MTS-R блоки; 5 – GPS антенна; 6 – кабель, связывающий MTS-R и аккумулятор 12 V; 7 – компакт флэш-карта.

Россия, 191023, С.-Петербург, а/я 188, Мучной пер. 2, СПбФ ИЗМИРАН  
Тел. (812)3105232, Факс: (812)3105035, E-mail: Galina@gh5667.spb.edu  
Российская Академия Наук, Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова (СПбФ ИЗМИРАН).

## **5.2 Магнитная локация источников аномальных УНЧ электромагнитных возмущений, возникающих в сейсмоактивных зонах перед сильным землетрясениями**

Впервые аномальные ультранизкочастотные (УНЧ) электромагнитные излучения были обнаружены российскими учеными (сотрудниками СПбФ ИЗМИРАН) в 1988 г. перед Спитакским землетрясением и затем в Грузии (Рача, 1991 г.). Дальнейшие исследования в сейсмоактивных зонах США и Японии подтвердили возникновение аномальных УНЧ излучений ( $F = 0,001 - 10$  Гц) перед сильными землетрясениями. Эти излучения возникают в литосфере Земли в окрестности будущего землетрясения и связаны с активизацией тектонических процессов и подъемом магмы.

Результаты, полученные в последнее десятилетие российскими учеными, позволили создать специальную высокочувствительную геофизическую аппаратуру и научные методы для локации удаленных локальных источников УНЧ электромагнитных излучений (в том числе и под дном моря), возникающих в сейсмоактивной зоне задолго до первого сейсмического толчка. Таким образом, созданы предпосылки для определения района эпицентра будущего землетрясения на расстоянии до 100 км от пункта наблюдения и для использования УНЧ электромагнитных предвестников в целях краткосрочного (за 1 - 60 суток) прогноза сильных (магнитуда  $M > 5$  баллов по шкале Рихтера) землетрясений. Результаты этих исследований опубликованы в зарубежных и отечественных научных изданиях.

Начиная с 1998 г. геофизические комплексы MVC-3DS (новая версия GI-MTS-1) (рисунок 70), разработанные в СПбФ ИЗМИРАН, установлены в Японии для совместных исследований локальных УНЧ электромагнитных возмущений, возникающих в очаговой зоне будущего сильного землетрясения. В настоящее время работа специальной сети цифровых станций GI-MTS-1 в Японии поддерживается нашими алгоритмами и программным обеспечением. Все данные

о вариациях трех магнитных ( $H$ ,  $D$ ,  $Z$ ) и двух электрических ( $E_x$ ,  $E_y$ ) компонент на магнитных градиентных установках, расположенных в двух точках (схематично пункты 1, 2 на рисунке 71) и разнесенных на расстояние 140 км передаются в центр сбора для оперативной обработки информации в реальном масштабе времени.

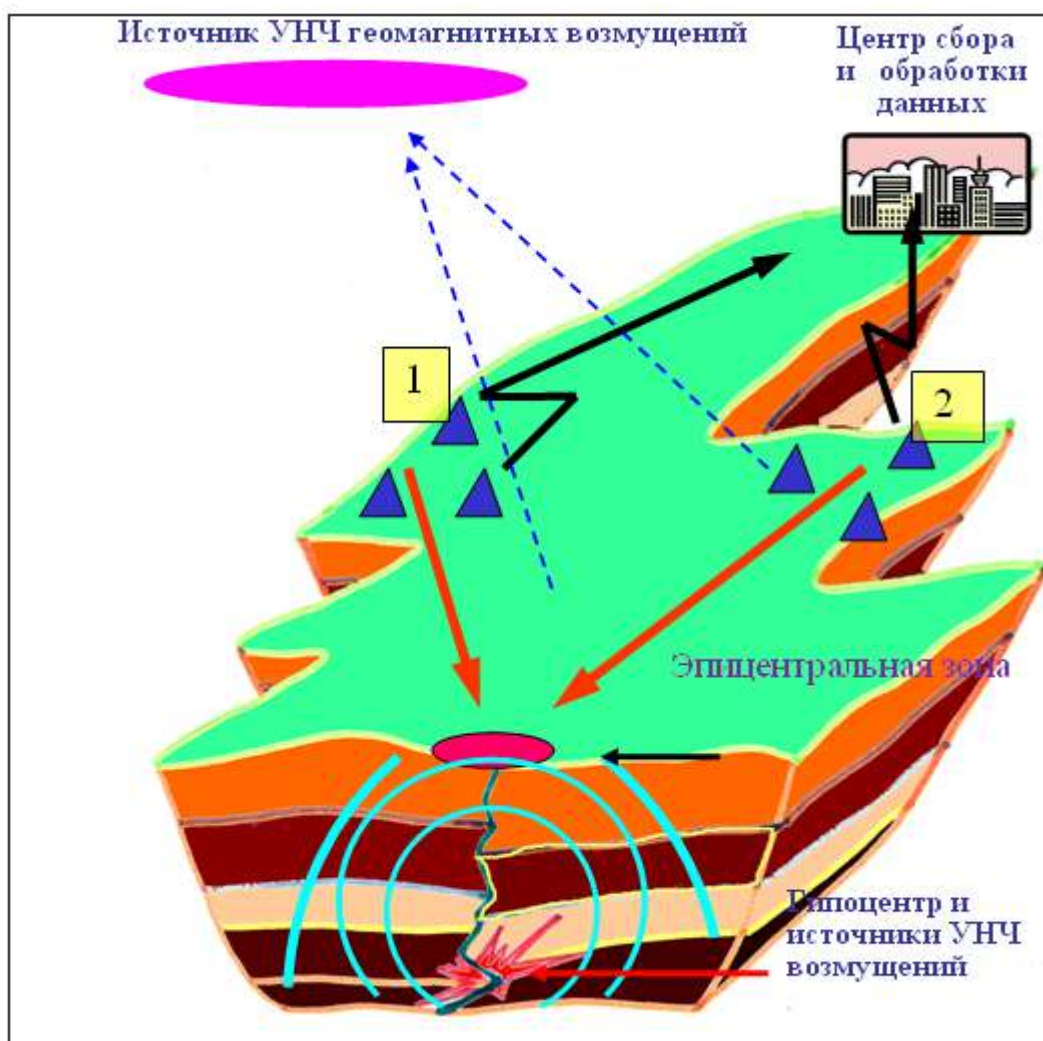


Рисунок 71 - Схема магнитной локализации эпицентра землетрясения.

Для определения местоположения активной зоны предстоящего сильного землетрясения ( $M > 5$ ) используется оригинальный метод УНЧ магнитной локализации, разработанный в СПбФ ИЗМИРАН. В 2000-2002 г. совместно с японскими коллегами были получены первые положительные результаты использования российской аппаратуры и научных методик (рисунок 72).

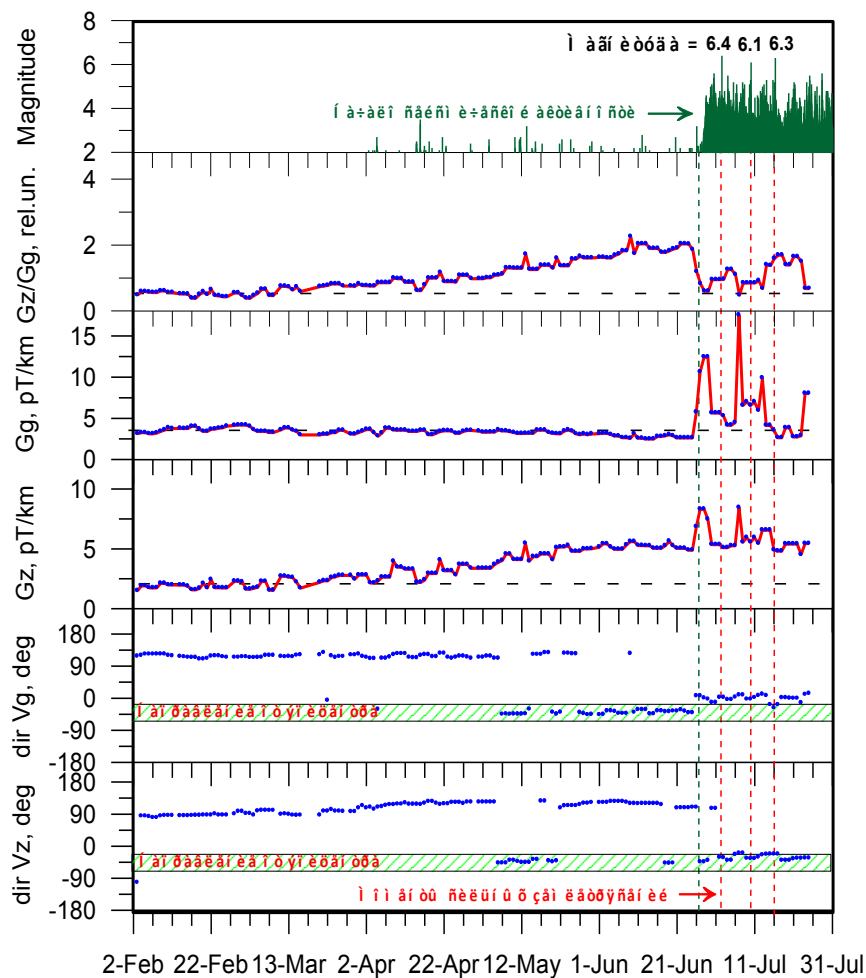


Рисунок 72 - Поведение величин градиентов ( $G_g$ ,  $G_z$ ) и направлений фазовых скоростей ( $V_g$ ,  $V_z$ ) УНЧ геомагнитных вариаций в полосе частот  $F = 0,1 - 0,3$  Гц до и во время сейсмоактивного периода. Япония, 2000 г.

Ранее установка магнитной локации в УНЧ диапазоне (геофизический комплекс «Очаг-1») в течение нескольких лет использовался в субавроральной зоне России для изучения динамики ионосферных токовых систем, ответственных за возмущения магнитного поля Земли.

Треугольники – магнитные станции, разнесенные на расстояние 2-5 км, расстояние между группами станций (1 и 2) – 50 – 150 км; красные линии – вектора градиентов аномальных УНЧ магнитных возмущений, вычисленные на каждой группе станций.

## **Заключение**

На первом этапе исследований в рамках НИР обобщены и с современных позиций проанализированы новейшие отечественные и зарубежные результаты экспериментальных исследований по электромагнитным предвестникам, включая и аномальное электромагнитное излучение, возникающим в период,

предшествующий сейсмическим событиям на всех стадиях подготовки и протекания.

Обсуждены некоторые вопросы взаимосвязи процессов, протекающих в земле, с возмущениями в электромагнитных параметрах атмосферы и ионосфере. Необходимость проведения таких обобщающих исследований при продолжении выполнения НИР продиктована рядом обстоятельств.

В отечественной науке и практике возрастает роль наблюдательной геофизики при решении задач предсказания крупных сейсмических событий. Это стало возможным благодаря появлению современных методов и геотехнологий, позволяющих на новом уровне интерпретировать результаты исследования различных параметров физических полей, полученных в результате проведения, наземных, подземных (скважинных) и воздушных (спутниковых) исследований и являющихся в конечном итоге основой для создания объемных геолого-геофизических моделей изучаемых сейсмоопасных и вулканопасных регионов.

Все фундаментальные и прикладные исследования в этой важной научной области имеют важное государственное значение.

Характеризуя проблему в целом необходимо отметить, что в настоящее время еще существуют определенные противоречия в представлениях, относящихся непосредственно к процессу подготовки землетрясений. Согласно традиционным представлениям, заложенным в основном работами советских и американских сейсмологов в 70-х годах, возникновение сильного землетрясения предваряется изменениями характерной формы в комплексе геофизических и геохимических полей. Выявление распределения этих изменений в пространстве и времени может быть использовано для детерминистского предсказания готовящегося землетрясения или извержения вулкана.

Тем не менее, сегодня уже можно считать установленным, что в наблюдаемых на УСУ КГФИИС КБГУ вариациях содержатся сведения о динамике геофизической среды и процессах протекающих в зоне подготовки крупных сейсмических событий. В дальнейшем необходимо вести работы по получению новых экспериментальных результатов с последующей аппаратурной

классификацией наиболее характерных электромагнитных признаков в УНЧ диапазоне и оценки адекватности выполняемой на их основе интерпретации полученных данных, с выходом на краткосрочный прогноз крупных сейсмических событий.

В результате развертывания научных исследований по изучению аномальных электромагнитных излучений (АЭМИ) на базе информационно-измерительных комплексов в составе УСУ КГФИИС КБГУ уже получены новые научные результаты в УНЧ диапазоне, которые в настоящее время обрабатываются.

При продолжении натурных наблюдений кажется естественным расширение измерительной базы Северокавказской геофизической обсерватории. В составе УСУ КГФИИС целесообразна установка, по возможности, сети станций на различном удалении от вулканической постройки Эльбруса - вероятного эпицентра геодинамических событий в регионе - и организация как можно более длительных непрерывных наблюдений. И, тем не менее, здесь остаются неясными моменты выбора новых пунктов развертывания лабораторий. Являются ли геолого-геофизические, географические особенности или особенности рельефа местности важными? Для АЭМИ они, по сути, еще не только не решались, но и не ставились. Очевидны трудности на пути формулирования общих рекомендаций. И все же, исходя из имеющейся информации, по-видимому, можно определить самый общий подход к методике постановки наблюдений.

Здесь следует исходить из положения, что как само землетрясение или извержение вулкана, так и процессы подготовки таких событий - это следствие в конечном итоге тектонической активности Земли. Прогностические сигналы, являясь отражением процесса подготовки сейсмического события, определяются изменениями в напряженно-деформированном состоянии горной породы во всем объеме зоны подготовки, в том числе и у дневной поверхности. Полагая также, что аномальные ЭМИ (как и ряд других предвестников) определяются механическими воздействиями в приповерхностных слоях земной коры.

По мнению известного российского ученого В. Н. Николаевского, мозаичность ЭМИ может быть усилена неоднородностью, связанной с водонасыщенностью верхних слоев горной породы.

В целом аномальные ЭМИ являются составной частью процесса перераспределения энергии в период подготовки землетрясения. Но обладая присущими землетрясению характерными особенностями, оно дает дополнительные сведения в исследовании динамики развития напряжений перед землетрясением.

Интегральность АЭМИ при наблюдении на поверхности земли позволяет исключить локальные особенности точки наблюдения и получить обобщенную информацию о региональных свойствах среды, характеризующую область подготовки землетрясения. Это не только открывает возможность надеяться в будущем на снижение случаев пропуска цели, но и позволяет говорить о контроле аномальных возмущений в напряженно-деформированном состоянии региона в отличие от дифференциального характера деформационных изменений по значительно менее плотной сети станций.

Отметим также, что аномальное ЭМИ - один из пока что единичных способов получения оперативных сведений накануне стихийного бедствия.

В настоящее время проблема изучения оперативных электромагнитных предвестников находится на первой стадии научно-исследовательской работы, характеризующейся набором статистического материала и выявлением основных закономерностей и региональных особенностей. Эта стадия предполагает постановку режимных наблюдений на оптимальной сети станций, оснащенной стандартизированной аппаратурой, внедрение в практику экспериментальных исследований вычислительной техники и методов оперативной обработки информации в реальном масштабе времени получаемых данных.

Временной масштаб проявления предвестника в десятки минут - первые часы без сомнения значительно усложняет возможности своевременного и надежного выделения сигнала, в то же время, многократно повышает актуальность и необходимость такой работы.



### **Список использованных источников**

1. Авдулов М.В. О геологической природе гравитационной аномалии Эльбруса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 9. С. 67–74.
2. Авдулов М.В. Строение земной коры по данным гравиметрии на Центральном Кавказе // Сов. геология. 1963. № 9. С. 73–89.

3. Авдулов М.В., Короновский Н.В. О геологической природе Эльбрусского гравитационного минимума. //Вест. МГУ, сер. 4, геол., 1993, №3, С. 32-39.

4. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Имомназаров Х.Х, Ковалевский В.В., Собисевич Л.Е., Хайретдинов С.М., Цибульчик Г.М. Мониторинг геометрии и физических свойств «поверхностной» и «очаговой» дилатансных зон методом вибросейсмического просвечивания сейсмоопасных участков земной коры / В кн.: Изменения природной среды и климата. Природные катастрофы. Под ред. академика Н.П. Лаверова. Т. 1. Сейсмические процессы и катастрофы. М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 179 – 222.

5. Андреев Б.А., Клушин И.Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Гостоптехиздат, Л., 1962. 120 с.

6. Арбузкин В.Н., Компаниец М.А., Швец А.И., Греков И.И., Литовко Г.В. и др. Отчёт о комплексных геолого-геофизических исследованиях по Приэльбрусскому профилю. ФГУП «Кавказгеолсъемка». Ессентуки, 2002. С. 120.

7. Баранов Г.И., Белов А.А., Дотдугев С.М. Большой Кавказ. //Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования. М., 1990, С. 196-204.

8. Бахмутов В.Г., Седова Ф.И., Мозговая Т.А. Морфологические признаки в структуре геомагнитных вариаций в период подготовки сильнейшего землетрясения 25 марта 1998 г. в Антарктиде // Украинский антарктический журнал. 2003. № 1. С. 54-60.

9. Богатилов О.А., Гурбанов А.Г., Мелекесцев И.В. и др. Проблема активизации вулкана Эльбрус (Северный Кавказ) и ее возможные последствия. //Глобальные изменения природной среды. Новосибирск, СО РАН, 1998 С. 153-164.

10. Богатилов О.А., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л. Использование космических технологий для мониторинга геологических структур вулкана Эльбрус // ДАН. 2002. Т. 387. № 3. С. 244 – 247.

11. Гаретовская И.В., Краснопевцева Г.В., Сизов Ф.В. и др. Изучение глубинного строения Северо-Кавказской сейсмической зоны с помощью

сейсмических и гравиметрических методов (Кавказские Минеральные Воды и Приэльбрусье) // Основные проблемы сейсмотектоники. М.: Наука, 1986. С. 105–119.

12. Годзиковская А.А. Мантийные землетрясения Кавказа – в кн. «Современная геодинамика и глубинное строение территории СССР». М., Наука, 1977, С. 106-110.

13. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Аронов Е.А. О высокочастотном излучении при сейсмической активности // Докл. АН СССР. 1979. Т.248, № 5. С.1077-1081.

14. Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. М.: Наука, 2008. 295 с.

15. Греков И.И., Пруцкий Н.И. Проблемы геодинамики и металлогении Центрального Кавказа в позднегерцинский-триасовый этап развития Северного Кавказа. Новочеркасск, «Набла», ЮРГТУ, 2001, С. 4-16.

16. Греков И.И., Пруцкий Н.И. Проблемы тектоники и металлогении Северного Кавказа. //Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа. Ессентуки, 2000. С. 208-226.

17. Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // УФН. Т. 177. №12. 2007. С. 1250 – 1276.

18. Дубинский А.Я., Маценко Н.А., Потапенко Ю.Я., Ростовцев К.О. Схематическая геологическая карта Предкавказья и прилегающих районов масштаба 1:500 000. М., 1976.

19. Ковалев Г.Н., Масуренков Ю.П. Современное состояние вулкана Эльбрус. //Изв. АН СССР. Сер. геол., 1971, №2, С. 25-29.

20. Краснопевцева Г.В. Глубинное строение Кавказского сейсмоактивного региона. М., Наука, 1984. 178 с.

21. Краснопевцева Г.В., Резанов И.А. Глубинное строение центрального сектора Большого Кавказа. Изв. АН СССР. Сер. геол., №1, 1970. С

22. Лебедев Т.С., Шанец С.М. Электрические свойства водонасыщенных пород в различных термобарических условиях. Геофизический журнал т.8 №3, 1986. С.34-42.

23. Масуренков Ю.П. Тектоника, магматизм и углекислые минеральные воды Приэльбрусья // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 5. С 45–57.
24. Милановский Е.Е., Короновский Н.В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. М., Недра, 1973. 267 с.
25. Моргунов В.А., Матвеев И.В. Электромагнитное излучение на афтершоках Спитакского землетрясения// Изв. АН СССР. Физика Земли. 1990. № 6. С. 14-19.
26. Моргунов В.А., Сидорин А.Я. Регистрация электромагнитных предвестников землетрясений // Сейсмические приборы. Вып. 25-26. М.: 1996. С. 184 – 189.
27. Нечаев Ю.В. Космические технологии в задачах изучения локальных неоднородностей земной коры // Сб. научных трудов «Геофизика на рубеже веков». М.: ОИФЗ РАН. 1999. С. 276-290.
28. Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л. Космические технологии в задачах механико-математического моделирования внутреннего строения геофизической среды. Третий Международный аэрокосмический конгресс «IAC» 2000: Сборник тезисов, М., 2000. С 23-24.
29. Никольский Ю.И., Милай Т.А., Коган Л.З. Геолого-геофизические исследования тектоники, магматизма и металлогении Кавказа. Л., Недра, 1975, 128 с.
30. Резников В.И. Кольцевая структура на Северном Кавказе//Проблемы геологии и геоэкологии юга России и Кавказа. Новочеркасск: «Набла»», 1997, С. 62-64.
31. Рогожин Е.А. Количественная оценка морфологической неоднородности зоны полной складчатости Большого Кавказа // Докл. АН СССР. 1988. Т. 299, № 6. С. 1457–1460.
32. Рогожин Е.А. Тектоника очаговых зон сильных внутриконтинентальных землетрясений//Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып.1. М.: ИФЗ РАН, 1993. С. 217-227.

33. Рогожин Е.А., Арефьев С.С., Богачкин Б.М., Систернас А., Филип Э. Комплексный анализ геологических и сейсмологических данных и сейсмотектоническое представление об очаге Рачинского землетрясения// Физика Земли. 1993. N3. С. 70-77.

34. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М. Альпийская и новейшая тектоника района Рачинского землетрясения // Физика Земли. 1993. № 3. С. 3–11.

35. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В. и др. Следы сильных землетрясений прошлого в рельефе Горного Алтая. // Геоморфология, 1999. № 1. С. 82-95.

36. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В. Сейсмотектоническое значение поперечной зональности северо-западной части Большого Кавказа.// Построение моделей развития сейсмического процесса. Гос. научн.-тех. программа России «Глобальные изменения природной среды и климата». М.: ОИФЗ, 1993. С.139-148.

37. Рогожин Е.А., Захарова А.И. Неизвестные сильные землетрясения Северо-Западного Кавказа в голоцене и сейсмический режим.// Тез. Докл. II Международн. семинара «Сейсмология и факторы снижения сейсмического риска». Баку: изд-во «Элм», 2002. С. 127-131.

38. Рогожин Е.А., Нечаев Ю.В., Богачкин Б.М.и др. Использование материалов аэрокосмических съемок при изучении эпицентральной зоны Рачинского землетрясения 1991 г. на Кавказе// Исследования Земли из космоса. 1993. N6. С. 94-104.

39. Рогожин Е.А., Остач О.М., Джибсон Р. и др. Интенсивное оползнеобразование в Ставропольском крае как пример «тихой» природной катастрофы.// Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень. 1994. Вып. 1, N3. С.15-19.

40. Рогожин Е.А., Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Оценка сейсмического потенциала Большого Кавказа и Апеннин независимыми методами //

Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики: Избр. науч. тр. М.: ОИФЗ РАН, 2001. С. 279-300.

41. Рогожин Е.А., Сидорин А.Я., Нечаев Ю.В. и др. Сейсмотектоника и сейсмогенерирующие зоны Ставропольского края. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 41с.

42. Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е. Сравнительная геодинамика и сейсмотектоника Центрального, Северо-Западного Кавказа и Восточных Понтидов // Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. М.: ОИФЗ РАН, 1996. Вып. 2. С. 17–38.

43. Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л., Богатилов О.А., Гурбанов А.Г., Коваленко В.И. и др. Геодинамика, сейсмотектоника и вулканизм Северного Кавказа. Под ред. акад. Н.П. Лаврова. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 336с.

44. Рогожин Е.А., Филип Э. Геолого-тектоническое изучение очаговой зоны Спитакского землетрясения // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 11. С. 3–17.

45. Рогожин Е.А., Шолпо В.Н. Неоднородность зоны полной складчатости Большого Кавказа. Геотектоника, 1988, N 5. С. 79-93.

46. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы. М.: Докл. АН СССР. 274. 4. 1979. С. 829 – 831.

47. Садовский М.А. О моделях геофизической среды и сейсмического процесса // Прогноз землетрясений. Душанбе: Дониш, 1984. № 4. С. 268-273.

48. Садовский М.А., Волховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука. 1987. С. 100.

49. Садовский М.А., Волховитинов Л.Г., Писаренко В.Ф. О свойствах дискретности горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1982. № 12. С. 3 – 18.

50. Садовский М.А., Голубева Т.В., Лисаренко В.Ф., Шнирман М.Г. Характерные размеры горной породы и иерархические свойства сейсмичности // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 2. С. 3 – 15.

51. Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Родионов В.Н. От сейсмологии к геомеханике: О модели геофизической среды // Вестн. АН СССР. 1983. № 1. С. 82 – 88.
52. Садовский М.А., Сардаров С.С. Соподчиненность и подобие геодвижений в связи с естественной кусковатостью пород. М.: Докл. АН СССР. 250. 4. 1980. С. 846 – 848.
53. Садовский М.А., Соболев Г.А., Мигунов Н.И. Изменение естественного излучения радиоволн при сильном землетрясении в Карпатах// Докл. АН СССР. 1979. Т. 244, № 2. С. 60-63.
54. Сидорин А.Я. (ред.). Гармский геофизический полигон. М.: ИФЗ АН СССР, 1990. 240 с.
55. Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. М.: Наука, 1992. 192 с.
56. Сидорин А.Я., Журавлев В.И., Осташевский М.Г. Комплексные электрометрические исследования геодинамических процессов// Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1983. С. 149-162.
57. Смирнова М.А. Минераловодская тектономагматическая кольцевая структура. //Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. Т. II. М., 1999, С. 153-155.
58. Собисевич А.Л. Мониторинг слоистых неоднородных сред. Монография. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 354 с.
59. Собисевич А.Л., Гриднев Д.Г., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории // Сейсмические приборы. Вып. 44. М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 12 – 25.
60. Собисевич А.Л., Гриднев Д.Г., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории // Сейсмические приборы. Вып. 44. М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 12 – 25.
61. Собисевич Л.Е., Милюков В.К., Собисевич А.Л. Механико-математический мониторинг магматических структур вулкана Эльбрус. М.: ОИФЗ РАН, 2001. С. 223–249.

62. Собисевич Л.Е., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л., Богатилов О.А., Гурбанов А.Г., Милуков В.К., Копаев А.В., Куликов В.И., Гончаров А.И., Лаврушин В.Ю. Мониторинг магматических структур вулкана Эльбрус. Под редакцией академика Лаврова Н.П. ОИФЗ РАН. Москва. 2001. 192 с.

63. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Волновые процессы и резонансы в геофизике. М.: ОИФЗ РАН, 2001. 297 с.

64. Уральский государственный технический университет. Лаборатория квантовой магнитометрии. ПРОЦЕССОРНЫЙ ОВЕРХАУЗЕРОВСКИЙ ДАТЧИК POS-1 (ПОС-1). Руководство по эксплуатации.

65. Федотов С.А. О входных температурах магм. образований, размерах и эволюции магм. очагов вулканов. //Вулканология и сейсмология, №4, 1980. С. 3-29.

66. Хитаров Н.И., Щукин Ю.К., Сизов А.В. К оценке активности вулкана Эльбрус // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275, № 4. С. 952–984.

67. Fraser-Smith A.C. Ultralow-Frequency Magnetic Fields Preceding Large Earthquakes // Eos. Vol. 89. № 23. 2008. P. 211.

68. Gokhberg M.B., Morgounov V.A. Yoshino T., Tomizawa. Experimental measurements of electromagnetic emission possibly related to earthquakes in Japan// /, Geophys. Res. 1982. Vol.87, No. B9. P. 7884-7888.

69. IGRF10 Model Coefficients for 1945 - 2010.  
<http://modelweb.gsfc.nasa.gov/magnetos/>