

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

УДК 550.3
№ госрегистрации 01200905654

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

д.т.н., проф. Карамурзов Б.С.

« » _____ 2010 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)»
(заключительный)

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

по этапу №4:

«Обоснование рационального комплекта мобильных информационно-
измерительных систем, обеспечивающих оперативный контроль состояния
вулкана и сейсмических процессов в регионе»

Проректор по научно-
исследовательской работе
и информатизации _____ А.П.Савинцев

Руководитель темы _____ Л.Е. Собисевич

Нальчик 2010

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы

Заведующий учебно-научной лабораторией Прикладной геофизики КБГУ, д.т.н., профессор	24.09.10	Л.Е. Собисевич (Введение, главы 1- 4, заклучение)
---	----------	---

Исполнители темы:

Заведующий учебно-научной лабораторией Волновых процессов в слоистых средах, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН	24.09.10	О.В. Руденко (Главы 1-4)
Ведущий инженер учебно-научной лаборатории Волновых процессов в слоистых средах, д.ф.-м.н.	24.09.10	А.Л. Собисевич (Главы 1-4)
Ведущий научный сотрудник УНИИД КБГУ, д.г.-м.н.	24.09.10	Ю.П. Масуренков (главы 1-4)
Доцент кафедры Чрезвычайных ситуаций, к.п.н.	24.09.10	Сердюков И.И. (Главы 2,3)
Заведующий кафедрой Чрезвычайных ситуаций, к.т.н., профессор	24.09.10	А.В. Шевченко (Главы 1-4)
Ведущий инженер учебно-научной лаборатории Волновых процессов в слоистых средах, к.ф.-м.н.	24.09.10	А.М. Гангапшев (Главы 2)
Ведущий инженер учебно-научной лаборатории Геодинамики, к.ф.-м.н.	24.09.10	Т.Л. Шугунов (Глава 3)
Доцент кафедры Геофизики и экологии, к.ф.-м.н., доцент	24.09.10	М.М. Шогенова (Глава 2)
Доцент кафедры Геофизики и экологии, к.ф.-м.н., доцент	24.09.10	С.Б. Балкарова (Глава 2)

Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	24.09.10	Р.Р. Каширгова (Главы 1-4)
Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	24.09.10	З.И. Дударов (Глава 2,3)
Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	24.09.10	С.М. Долов (Глава 2,3)
Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	24.09.10	Э.Х. Алиев (Глава 3)
Аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций	24.09.10	Машуков А.С. (Глава 2,3)
Студент 3 курса Физического факультета КБГУ	24.09.10	М.Г. Рекс (Глава 3)
Студент 2 курса Магистратуры Физического факультета КБГУ	24.09.10	Э.Р. Казиева (Глава 3)
Нормоконтролер	24.09.10	Е.А. Кольченко

Реферат

Отчет 271 стр., 169 рис., 11 табл., 90 источников

В составе Северокавказской геофизической обсерватории в настоящее время развернута система мониторинга локальной и региональной сейсмичности, которая базируется как на стационарной, так и на мобильной сейсмической сети, созданной на базе короткопериодных сейсмографов. Широкополосные приборы, включенные в мобильные структуры, позволяют создать мощную систему для детального изучения глубинных сейсмических источников, а также для наблюдения за телесеismicкими событиями. Стационарные деформографы и наклонометры, установленные в четырех лабораториях Северокавказской геофизической обсерватории, используются для изучения более низких частот от сейсмических источников и позволяют регистрировать медленные подвижки и локальные неупругие деформации.

Летом 2010 года группой ученых КБГУ, ИВМиМГ СО РАН, ИФЗ РАН и БНО ИЯИ РАН в районе Эльбрусского вулканического центра впервые была развернута и опробована в режиме непрерывной работы линейная сейсмическая антенна протяженностью 2,5 км. Она включала 6 трехкомпонентных сейсмометров типа СК-1П с автономными цифровыми регистраторами «Байкал», изготовленными учеными СО РАН. Группа была развернута (согласно данным наших предыдущих работ) непосредственно над магматическим очагом вулкана Эльбрус, в туннеле вспомогательной штольни Баксанской нейтринной обсерватории

На первом этапе проведенных экспериментальных работ с развернутой подземной сейсмической группой отрабатывались методические аспекты ведения расчетов с использованием полученных записей с целью определения характеристик микросейсмических шумов в штольне БНО ИЯИ РАН, их суточных вариаций, проявлений техногенных шумов, связанных с работой подземного комплекса БНО ИЯИ РАН, а также характера региональной сейсмической активности в районе магматического очага вулкана Эльбрус.

Полученные данные по регистрации местных сейсмических событий,

зарегистрированных линейной антенной, отражают весь набор сигналов, которые удастся наблюдать в районе Эльбрусского вулканического центра. В течение суток удастся зарегистрировать до 15-20 и более разномасштабных локальных сейсмических событий. Отдельные события длительностью до более 10 секунд связаны с динамическими процессами в локальных дилатансных структурах магматических образований вулкана Эльбрус.

Таким образом, при выполнении запланированных работ в рамках настоящей НИР нами впервые на Северном Кавказе была развернута подземная линейная сейсмическая антенна, которая позволила получить уникальную, не имеющую аналогов в России, геофизическую информацию о «жизни» вулкана Эльбрус. Дальнейшие исследования этих процессов позволят выйти на технологии прогнозирования активизации вулканических процессов в регионе.

После завершения работ по установке и введению в эксплуатацию линейной сейсмоакустической антенны мы приступили к работам второй очереди. Они включали развертывание мобильной информационно-измерительной системы, включающей специализированные низкочастотные сейсмометры, обеспечивающих зондирование глубинных структур вулкана на волнах Релея в частотном диапазоне 0,05 – 10 Гц.

Содержание

Введение	10
Глава 1 Обоснование рационального комплекта стационарных и мобильных информационно-измерительных систем, обеспечивающих оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе на основании измерения флюктуаций геофизических полей в районе вулканической постройки на базе (КГФИИС КБГУ)	17
1.1 Краткая характеристика стационарных информационно-измерительных систем, развернутых на базе КГФИИС КБГУ в интересах мониторинга вулканической и сейсмической опасности. Технологии получения геофизической информации содержащей исходные данные для решения задач оперативной контроля состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе	17
1.1.1 Наклонометрическая станция	23
1.1.2 Стационарный кварцевый гравиметр	28
1.1.3 Лазерный интерферометр – деформограф	36
1.1.4 О влиянии регионального рельефа на приливные деформации в районе Эльбрусского вулканического центра	40
1.1.5 Трехкомпонентная магнитовариационная станция	51
1.1.6 Система геотермии и климатконтроля Северокавказской геофизической обсерватории	61
1.2 Мобильные информационно-измерительные системы наземного мониторинга геофизических процессов, связанные с изучением сейсмической и вулканической деятельности. Обоснование рационального комплекта, обеспечивающего оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе	75

1.2.1 Мобильная автономная система сбора и регистрация геофизической информации.....	76
1.2.2 Переносной магнитометр на основе процессорного Оверхаузеровского датчика POS-1	111
1.2.3 Индукционный магнитометр.....	113
1.3 Геомагнитные, гравиметрические и сейсмологические наблюдения, выполненные с использованием мобильных информационно-измерительных систем в районе Эльбрусского вулканического центра	116
1.3.1 Результаты натурных наблюдений магнитного поля в районе Эльбрусского вулканического центра.....	116
1.3.2 Аппаратура автономного контроля температурных полей в районе вулканического центра; современные технологии дистанционного зондирования тепловых полей на поверхности вулканической постройки. Экспериментальные работы по определению температуры в магматической камере	124
1.3.3 Исследование температур на вулканической постройке в районе образовавшегося озера близ ледника Малый Азау	143
1.3.4 Экспериментальная оценка температур в области магматической камеры вулкана Эльбрус	148
1.3.5 Комплексный мониторинг состояния литосферы сейсмоактивных и вулканоопасных регионов Северного Кавказа на основе высокоточных GPS/ГЛОНАСС наблюдений.....	154
1.3.6 Создание сети пунктов повторных измерений абсолютных значений силы тяжести в Североквказском регионе.....	156
Глава 2 Развертывание информационно-измерительных систем, обеспечивающих оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических	

процессов в регионе на основании измерения флюктуаций геофизических полей на базе КГФИИС КБГУ	160
2.1 О возможности создания мобильной сейсмической линейной группы в районе Эльбрусского вулканического центра. Результаты наблюдений.....	160
2.1.1 Работы по разворачиванию протяженных сейсмических антенн в подземных выработках Баксанской нейтринной лаборатории ИЯИ РАН	164
2.1.2 Методика эксперимента и построение изображений.....	165
2.1.3 Разворачивание протяженных сейсмических антенн в подземных выработках Баксанской нейтринной лаборатории ИЯИ РАН. Методика эксперимента и построение изображений.....	167
2.1.4 Результаты экспериментальных работ и их обсуждение	172
2.2 Технология глубинного низкочастотного микросейсмического зондирования строения литосферы на волнах Релея	187
2.2.1 Трансформация структуры поверхностных волн Рэлея под влиянием локальных неоднородностей геологической среды	192
2.2.2 Технология полевых работ	196
2.2.3 Результаты полевых экспериментов.....	200
2.2.4 Исследование системы соляных куполов	200
2.2.5 Глубинное строение грязевого вулкана горы Карabetова.....	203
2.2.6 Исследование глубинного строения Ахтырской флексурно-разрывной зоны и грязевого вулкана Шуго	211
Глава 3 Проведение экспедиции, связанной с разворачиванием четвертой лаборатории в верховьях реки Кубань (Эльбрусский вулканический центр) ..	228
3.1 Общие сведения о Верхне-Кубанском гидрогеодинамическом полигоне .	228

3.2 Установка геофизических приборов на полигоне ВСЕГИНГЕО	232
3.3. Анализ результатов натурных наблюдений, полученных аппаратурными комплексами, установленными в районе Верхнекубанского полигона.....	237
Глава 4 Проведение технико-экономической оценки полученных результатов	247
Заключение.....	253
Список использованных источников.....	264
Приложение 1.....	273

Введение

Цель выполнения НИР:

Проведение исследований в области: прогнозирования состояния окружающей среды, физических и химических процессов в ней, оценки и освоения ресурсов, оценки техногенных и природных рисков, изучения космических объектов.

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.

Северный Кавказ характеризуется самой высокой сейсмичностью в европейской части России. Выявление здесь потенциальных сейсмических очагов и долгосрочный прогноз сильных землетрясений имеют чрезвычайное значение для оценки сейсмической опасности и сейсмического риска в этом густонаселенном и промышленно развитом регионе страны.

Изучение тонкой структуры геологической среды, физических и химических процессов, протекающих в отдельных локальных образованиях, с целью поиска информативных предвестников готовящихся катастрофических событий (землетрясений, лавин и селей, вулканических извержений) в районах Северного Кавказа планируется выполнить на базе использования уникальной установки «Комплексная геофизическая информационно-измерительная система Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ), в интересах уточнения долгосрочных и

среднесрочных крупных сейсмических событий.

Проведение исследований и обеспечение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ, проводимых учреждениями Российской академии наук и Высшей школы (Геофизическая служба РАН, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Институт ядерных исследований РАН, Институт земного магнетизма и распространения радиоволн РАН, Институт геологии и рудных месторождений РАН, Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН), МГУ им. М.В. Ломоносова Кубанским государственным университетом и Воронежским государственным университетом обеспечивается предоставлением ученым этих научных организаций широких возможностей по использованию отдельных уникальных приборов и технологий; оказание методической помощи в области прикладной геофизики и геохимии на базе КГФИИС КБГУ.

Дальнейшее развитие материально-технической базы КГФИИС КБГУ будет проводится путем дооснащения имеющихся двух специализированных лабораторий в районе Эльбрусского вулканического центра, приобретаемым новым научным оборудованием для обеспечения и развития исследований в форме коллективного пользования.

Человек с самого начала своего появления на планете Земля испытывал постоянную незащищенность перед могучими силами природы: извержениями вулканов, землетрясениями, ураганами, цунами пожарами и др. В истории цивилизации известны примеры, когда крупные природные катастрофы сопровождались глубокими социальными потрясениями; гибели цивилизации, разваливались империи, создаваемые веками. В наше время, несмотря на постоянное развитие специализированных информационно-измерительных систем, средств связи, возможностей предупреждения и эвакуации населения из опасных регионов, предотвращение катастрофических последствий природных катаклизмов остаётся не решённой до конца проблемой. Более того, отмечается постоянный рост материального ущерба от природных катастроф, свидетельствующий о возрастающей зависимости современного общества от

состояния окружающей среды и от наших знаний о грядущих геофизических и техногенных катастрофических событиях.

Примером тому лесные пожары, которые летом этого года стали причинами крупнейших катастрофических событий на территории Европейской части России. Они потрясли крупнейший регион России и привели крупным материальным потерям и человеческим жертвам. По своим масштабам и излучению тепловой энергии, которые вызвали могучие восходящие воздушные потоки, достигшие верхних слоев стратосферы, катастрофа соизмерима с мощным вулканическим извержением, определяющим на заданный период локальные климатические перестройки. Мы явились свидетелями, когда устойчивый антициклон над европейской территорией России не только стал причиной крупномасштабных лесных пожаров, но и преградил путь насыщенным влагой воздушным массам из Атлантики. В результате в Европе были затоплены целые города. По определению эта катастрофа может быть отнесена к природным катастрофам. Однако необходимо подчеркнуть, что у истоков анализируемых событий сегодня можно выделить и процессы, которые определялись негативной деятельностью многочисленных чиновников разного уровня, устранивших структуры ответственные за охрану, сохранение и пожарную безопасность лесов. Человеческие жертвы, уничтоженные жилые здания – это результат действия необузданной стихии и наша плата за применение активных, ускоренных методов вхождения в капитализм.

Северный Кавказ в этом отношении представляет особую опасность. Здесь наблюдается активизация вулкана Эльбрус, регулярно происходят землетрясения и катастрофические события гравитационного происхождения (оползни, сели, обвалы, снежные лавины). На нашей памяти сел, сошедший с гор в Баксанском ущелье. Он уничтожил значительную часть города Тырнауз.

В Приэльбрусье лавинная активность, которая определяется снежностью зим. На крутых склонах гор мощный снежный покров способствует формированию лавин, в результате чего возникают кризисные ситуации. В

последние десятилетия XX столетия количество опасных лавин возросло. Наиболее лавиноопасными в Приэльбрусье были зимы 1954/55, 1967/68, 1973/74, 1975/76, 1978/79, 1986/87, 1992/93, 1996/97, 2005/2006 годов. Для долины Баксана это были зимы лавинных катастроф, приведшие к уничтожению разновозрастных лесных массивов, к разрушению жилых зданий в Байдаево, поселке Терскол, на поляне Азау, к гибели людей, скота, разрыву линий электропередач, завалу дорог.

Массовый сход снежных лавин или возникновение единичных, но особо крупных лавин, всегда представляет угрозу хозяйству Республики Кабардино - Балкария. Низкие зимние температуры воздуха, сильные и иногда ураганные ветры, снежные заносы и снеголомы значительно осложняют рациональное использование и промышленное освоение территории Республики.

Приведем только один характерный пример, который указывает на необходимость продолжения мониторинга и после окончания строительных работ. 10 марта 2006 года в 7 ч. 22 минуты по московскому времени мощная снежная лавина сошла с горы Андырчи (Эльбрусский вулканический центр) в районе Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований РАН. Уникальному научному учреждению Российской академии наук был нанесен большой материальный ущерб. Было полностью уничтожено депо. Погибли люди. Во время строительства все было просчитано. В соответствии с проектом были построены депо и подъездные пути. Ниже их построены каменные здания, где размещались спортивный зал, помещения для спасателей и ряда служб. Однако, строители не провели изучение структуры лавиносбора. В результате через 20 лет сложились погодные условия, которые в корне изменили структуру снежного потока, что и привело к захлестыванию основной массы в сторону Обсерваторских построек.



Рисунок 1 - Общий вид зоны транзита катастрофической лавины 16 дней спустя после схода (фото А.Л. Собисевича).

Сегодня в районе Баксанского ущелья и на склонах Эльбруса кипят строительные страсти. Человеку свойственно быстро забывать свои ошибки.

Многие годы ученые России ведут целенаправленные теоретические и экспериментальные исследования по поиску надежных предвестников разномасштабных геофизических и геоэкологических катастроф. Сегодня известно большое число предвестников различной физической природы. Одни из них характеризуют процессы в геофизической среде, происходящие на этапе подготовки крупных геодинамических событий, другие отражают процессы развития слабых сейсмических событий. Все наблюдаемые перестройки отражаются в геофизических полях. Так, перед сильными землетрясениями удается в ряде случаев наблюдать аномалии наиболее характерных геофизических полей. В первую очередь, это – поля, связанные с деформацией земной коры, сопровождающиеся различного рода сейсмическими волновыми явлениями, флуктуациями электромагнитных полей, проявлением местных гравитационных аномалий, динамикой флюидов и др.

В процессе выполнения настоящего проекта авторам удалось выделить новый класс магнитных возмущений, которые отражают условия развития, в том числе и глубинных геодинамических процессов, в регионе. Особенно ярко

эти сигналы проявляют себя на этапе подготовки крупного сейсмического события. Эти данные получены нами впервые в результате создания новой аппаратурной базы в составе Северокавказской геофизической обсерватории и проводимого на ее основе мониторинга тонкой структуры магнитного и сейсмического полей приборными комплексами КГФИИС КБГУ. Они пока не имеют мировых аналогов.

Помимо этого анализ комплексной геолого-геофизической информации позволил с научной точки зрения подойти к обоснованию концепции по модернизации УСУ и сформулировать требования к дооснащению специализированным оборудованием УСУ КГФИИС КБГУ в рамках разработки Программы развития УСУ на 2010 и последующие годы.

Научным коллективом изготовлены уникальные приборы и созданы макеты новых информационно-измерительных систем, которые развернуты в верховьях реки Кубань, на территории Республики Карачаево-Черкесия. Здесь создана лаборатория № 4, которая органически вошла в состав Северокавказской обсерватории.

Таким образом, применительно к Северному Кавказу и конкретно к территории Республики Кабардино-Балкарии в рамках настоящего проекта решен широкий круг актуальных фундаментальных проблем современной геофизики, среди которых на первый план вышли проблемы вулканизма и сейсмичности.

Выполненный в процессе исследований анализ комплексной геолого-геофизической информации позволил с научной точки зрения подойти к обоснованию концепции по модернизации УСУ и сформулировать требования к дооснащению специализированным оборудованием УСУ КГФИИС КБГУ в рамках разработки Программы развития УСУ на 2010 - 2012 годы.

Дальнейшее развитие материально-технической базы КГФИИС КБГУ и дооснащение уже созданных лабораторий, которые сегодня объединены в Северокавказскую обсерваторию, будет проводиться путем дооснащения имеющихся четырех специализированных лабораторий в районе Эльбурского

вулканического центра. Для этого необходимо приобрести новое научное оборудование, которое по нашему мнению должно включать как стационарные сейсмические и электромагнитные приборы и системы, так и мобильные информационно-измерительные системы, допускающие использование в экстремальных горных условиях на вулканической постройке Эльбруса.

Проведенные научные исследования, обеспечивавшие получение уникальной на сегодня геолого-геофизической информации, позволили с научной точки зрения подойти к обоснованию рациональных предложений по вопросам модернизации УСУ и сформулировать требования к дооснащению специализированным оборудованием УСУ КГФИИС КБГУ в рамках разработки Программы развития УСУ на 2010 и последующие годы.

Глава 1 Обоснование рационального комплекта стационарных и мобильных информационно-измерительных систем, обеспечивающих оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе на основании измерения флюктуаций геофизических полей в районе вулканической постройки на базе (КГФИИС КБГУ)

1.1 Краткая характеристика стационарных информационно-измерительных систем, развернутых на базе КГФИИС КБГУ в интересах мониторинга вулканической и сейсмической опасности. Технологии получения геофизической информации содержащей исходные данные для решения задач оперативной контроля состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе

Стационарные информационно-измерительные системы были развернуты нами с использованием аппаратных систем КГФИИС КБГУ в трех лабораториях Северокавказской геофизической обсерватории, которая является единственной в этом сейсмоопасном и вулканоопасном регионе. Это было необходимо сделать в кратчайшие сроки. Дело в том, что новые научные результаты, полученные в последние годы, позволяют утверждать, что вулкан Эльбрус находится сейчас в активной стадии своего развития и в этой связи может быть отнесен к классу «А» действующих вулканов с датировкой извержений в историческое время [1]. Однако полное представление о происходящих процессах, протекающих внутри вулканической постройки, можно получить только посредством многопараметрического геофизического мониторинга с применением всех известных технологий и современных приборов. В этой связи в процессе выполнения проекта было принято решение по наращивании аппаратных комплексов мобильными информационно-измерительными системами и развертыванию комплексной системы мониторинга на базе создаваемых отдельных геофизических лабораторий в районе Эльбрусского вулканического центра.

Исследования геодинамики и сейсмотектоники Центрального и Северо-Западного Кавказа [1] подтверждают высокий уровень сейсмической активности данного региона. В ряде сейсмоактивных зон могут реализоваться сейсмические события с магнитудами до 7,0 – 7,3. Отсутствие для территории Кабардино-Балкарии представительных данных об умеренной и слабой сейсмичности в диапазоне магнитуд $M \approx 1,0 - 2, 2$ делает невозможным проведение полноценных исследований по многим важнейшим направлениям современной геодинамики, а именно:

- выделению сейсмоактивных разломов,
- решению вопросов детального сейсмического районирования всей территории Республики Кабардино-Балкария,
- получению достоверных оценок уровней сейсмической и вулканической опасности в различных сейсмоактивных зонах и др.

Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с анализом вулканических процессов в районе Эльбрусской вулканической области, наметили два основных пути зондирования заглубленных магматических структур:

- анализ микросейсмического фона вблизи вулканической постройки вулкана Эльбрус,
- изучение наведенных волновых структур и не волновых движений, возникающих при активном воздействии на вулканические образования (камеру и очаг и др.).

Реализация обоих методов потребовала предварительного изучения геофизической обстановки, включая анализ микросейсмических шумов в районе вулканической постройки, и создания, соответствующих (по амплитудно-частотным характеристикам) задаче и фоновой обстановке, комплекса стационарных и мобильных информационно-измерительных сейсмических и геофизических систем. При этом в составе Северокавказской геофизической обсерватории, предназначенной для изучения всего комплекса наведенных волновых и не волновых движений (процессов) в регионе,

развивались информационно-измерительные системы, позволяющие изучать основной круг задач. Сегодня они включают приборы, отражающие в достаточной мере положение, структуру и «жизнь» магматических образований (магматических камер и магматического очага) в районе Эльбрусского вулканического центра. Успешное решение поставленной проблемы потребовало создания на первом этапе трех отдельных лабораторий, в которые сегодня успешно функционируют.



Рисунок 2 - Лаборатория № 1.

Координаты обсерватории: 43 16' северной широты 42 41' восточной долготы.

Углубление под гору Андырчи: 1500 м.

Габаритные размеры: ~ 3*4*6 м.

В лаборатории размещены:

- 1 - бетонный постамент: 1200*1200*8000 мм,
- 2 – приемная антенна трехкомпонентной магнитовариационной станции,
- 3 – прецизионные наклономеры,
- 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 в удаленный центр сбора (г. Нальчик, г. Москва).

Территориально две лаборатории располагаются в двух отдельных камерах (оборудованных в боковых вырубках) штольни «Главная» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН на углублении от входа 1500 метров (рисунок 2), и штольни «Вспомогательная» на углублении 4100 метров от входа (рисунок 4). Третья лаборатория расположена в городе Нальчике на территории КБГУ в специально подготовленном заглубленном помещении, где установлены три рабочих поста (рисунок 5).

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



Рисунок 3 - Рабочий момент. Настройка аппаратуры.

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

- Стационарная Наклонометрическая станция.
- Стационарная Магнитовариационная станция.
- Мобильные Магнитометры (индукционные).
- Мобильная Региональная сейсмическая станция.
- Вспомогательное научное оборудование, обеспечивающее контроль климатических параметров (давления и температуры).

Названные мобильные информационно-измерительные комплексы, предназначенные для работы на вулканической постройке. В другое время они используются как стационарные измерители.



Рисунок 4 - Северокавказская геофизическая обсерватория; лаборатория № 2, расположенная на удалении 4,1 км от входа в штольню «Главная» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН; на 2 постаменты размещены кварцевые наклонометры, стационарный кварцевый гравиметр, сейсмостанция, однокомпонентные индукционные магнитометры, температурные датчики магнитовариационная станция, сейсмическая станция.

Лаборатория № 3 Северокавказской геофизической лаборатории, созданная на базе «Комплексной геофизической информационно-измерительной системы Кабардино-Балкарского государственного

университета им. Х.М.Бербекова (КГФИИС КБГУ)» в районе г. Нальчик. Лаборатория расположена в заглубленном помещении под зданием университета (рисунок 4).



Рисунок 5 - Северокавказская геофизическая обсерватория, лаборатория № 3; на постаментах установлены следующие геофизические приборы: микробарограф, стационарный кварцевый гравиметр, наклонметрическая станция и региональная сейсмостанция ГС РАН. Лаборатория служит учебной базой кафедры геофизики КБГУ.

Таким образом, в процессе выполнения настоящего проекта авторским коллективом выполнен большой объем наладочных и экспериментальных работ, которые позволили создать уникальный по своим характеристикам научный геофизический объект, практическое использование которого открывает широкие возможности для решения как фундаментальных, так и прикладных задач, связанных с прогнозированием крупных катастрофических событий. На рисунке 6 приведена общая схема, дающая представление о размещении лабораторий под землей в штольнях Баксанской нейтринной обсерватории.

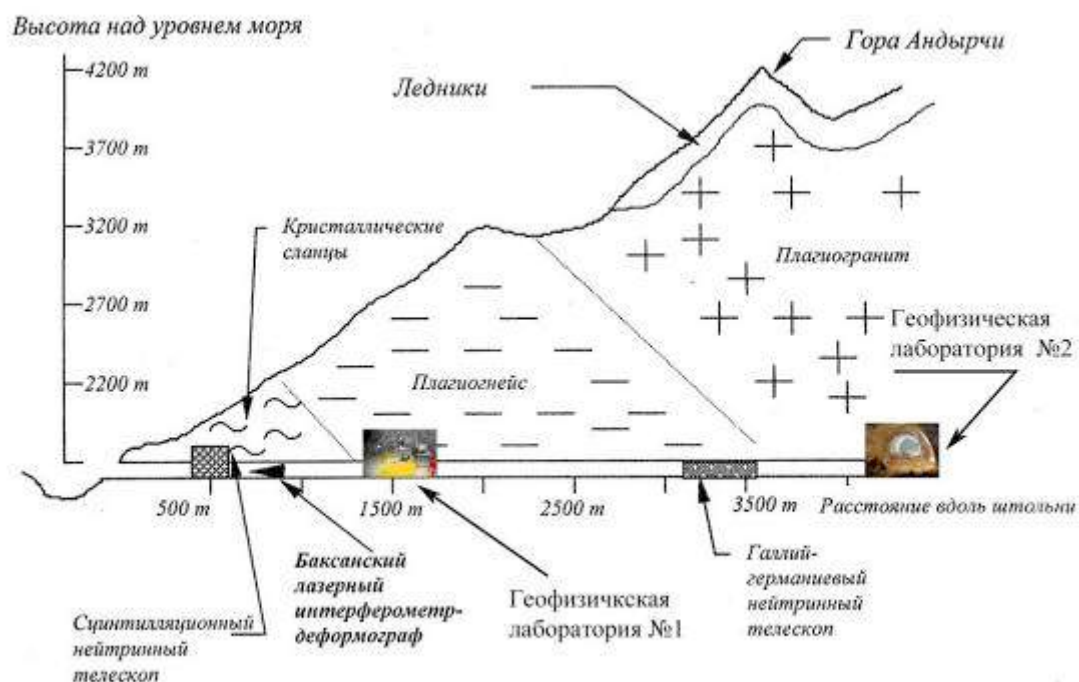


Рисунок 6 - Схематический разрез горы Андырчи вдоль штольни Баксанской Нейтринной Обсерватории.

Остановимся весьма кратко на описании некоторых уникальных стационарных информационно-измерительных систем, установленных в лабораториях Северокавказской геофизической обсерватории.

1.1.1 Наклонометрическая станция

Наклонометрическая станция, в основе которой использованы кварцевые наклонометры системы Д.Г. Гриднева (д.т.н., главный научный сотрудник ИФЗ РАН) является базовой и позволяет фиксировать приливные явления. Конструкция уникального по своим характеристикам наклонометра отличается существенной новизной. Принципиальная схема наклонометра и другие данные представлены на рисунках 6–10.

В монтажной рамке 1, жестко связанной с основанием наклонометра 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 наклонометра.

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 наклономера на наклономерной плите, что позволяет определить масштаб записи в процессе регистрации наклонов земной поверхности. По своим техническим характеристикам кварцевый наклономер системы Д.Г. Гриднева не уступает известным зарубежным наклономерам, а по некоторым параметрам и превосходит зарубежные аналоги.

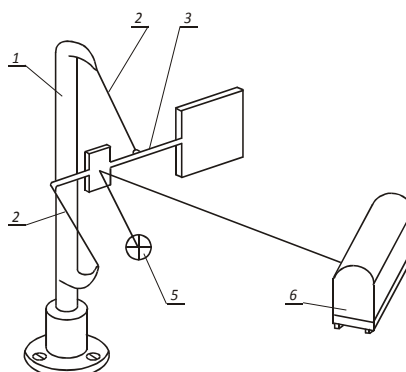


Рисунок 7 – Принципиальная схема наклономера

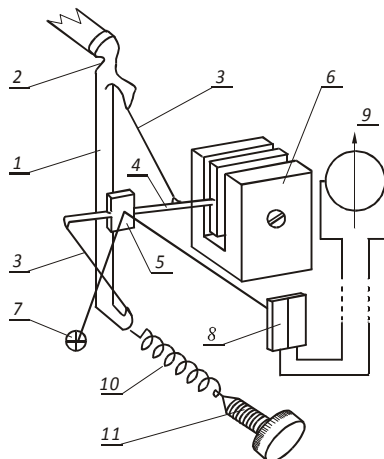


Рисунок 8 - Принципиальная схема наклономера с устройством определения масштаба записи.

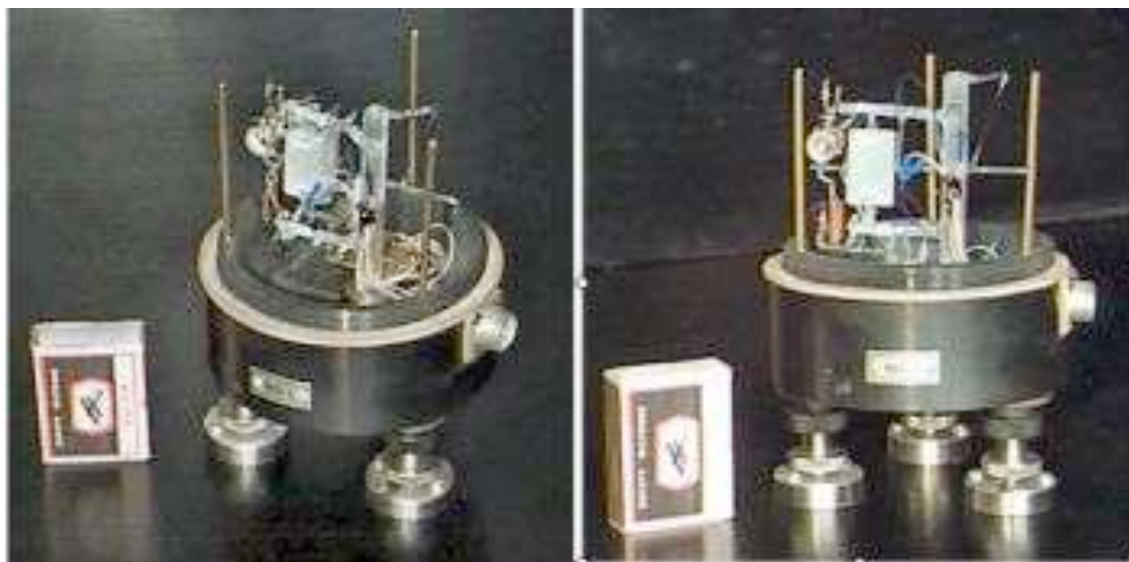


Рисунок 9, 10 - Элемент антенны наклонметрической системы.
Защитный кожух снят.



Рисунок 11 - Элемент антенны наклонметрической системы. Вид с другой стороны. Нити чувствительной кварцевой системы настолько тонкие, что их с трудом удастся рассмотреть простым глазом.

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.

Технология изготовления чувствительных систем, в которых используется кварц, в России в настоящее время отлажена, но требует привлечения специалистов высокого класса.

Однако транспортировка этих уникальных приборов представляется затруднительной, так как они требуют большой осторожности в обращении.



Рисунок 12 - Один из изготовленных нами наклономеров системы Д.Г. Гриднева в сборе.

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 накломера, использованного при создании наклонметрических станций Северокавказской 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: ± 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: ~ 220 или $= 12$
10. Потребляемая мощность:
 - фотоэлектрического устройства с применением лампы СЦ-78, В 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 накломера пропорциональна квадрату периода маятника, Т.



Рисунок 13 - Рабочий момент настройки накломера с дистанционной системой регулировки чувствительности.



Рисунок 14 - Доктор технических наук Гриднев Д.Г. и доктор технических наук, профессор Собисевич Л.Е., осуществляют настройку чувствительной системы накломера в «горячей» камере лаборатории № 2 на постаменте № 1.



Рисунок 15 - Постамент № 1 в Лаборатории № 2 на 41 пикете в штольне Северокавказской нейтринной обсерватории. Здесь установлены два наклономера (слева) и магнитовариационная станция (на втором плане).

Аналогичные прецизионные наклонметрические станции изготовлены и установлены нами в Лаборатории №2 на 41 пикете (рисунки 13-15) и в Лаборатории №3, расположенной в городе Нальчике.

1.1.2 Стационарный кварцевый гравиметр

Изучение земных приливов дает дополнительный материал для суждения о механических свойствах Земли. На поверхности Земли действие приливообразующих сил Луны и Солнца наблюдается во многих явлениях, и одно из них - изменение ускорения силы тяжести. Суммарная амплитуда приливных изменений ускорения силы тяжести едва превосходит 0,1 мГл, поэтому гравиметр, предназначенный для регистрации приливных изменений ускорения силы тяжести, должен иметь чувствительность на выходе порядка 100-500 мм/мГл.

При создании гравиметрической аппаратуры нами была использована кварцевая система конструкции Д.Г.Гриднева (ГКГ). Практика показала, что она позволяет вести регистрацию приливных изменений ускорения силы

тяжести в районе Эльбрусского вулканического центра. Созданные нами два макета гравиметра размещенной в Нальчике (Лаборатория № 3) и в штольне (Лаборатория № 2).



Рисунок 16 - Трёхкомпонентная широкополосная сейсмостанция, микробарограф, гравиметр и прецизионные кварцевые наклонометры на постаментах лаборатории № 3 в городе Нальчике

При проведении опытно-конструкторских работ в основу были положены научные заделы, которые получены ранее при разработке отечественного стационарного кварцевого гравиметра (СКГ) в ОКБ ИФЗ АН СССР, которое в настоящее время уже не существует. Это большая потеря не только для российской, ни и для мировой геофизики.

В комплект собственно прибора входят гравиметр ГКГ и специализированный регистрационно-измерительный блок.

Гравиметр ГКГ состоит из следующих основных узлов:

- 1) чувствительная кварцевая система,
- 2) блок сбора и передачи информации,
- 3) отсчетное микрометрическое устройство,
- 4) термостат,
- 5) корпус прибора.

Гравиметр ГКГ снабжается специальным приспособлением для юстировки кварцевой и оптической систем. Это приспособление позволяет производить необходимые операции при снятых отдельных частях прибора - корпусе и термостате. Приспособление для юстировки кварцевой и оптической систем снабжено тремя подъемными винтами, конструктивно выполнено так, что имеется свободный доступ к кварцевой системе.

Предусмотрена специальная подставка, предназначенная для жесткого закрепления гравиметра ГКГ на установке для эталонирования гравиметров наклоном.

Перейдем к рассмотрению основных узлов и устройств ГКГ.

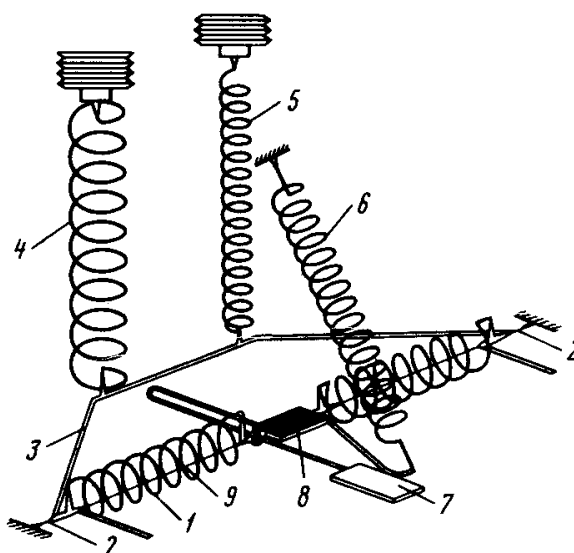


Рисунок 17 - Кварцевая чувствительная система гравиметра СКГ.

1 - Чувствительная кварцевая система - основной узел гравиметра, регистрирующий изменение ускорения силы тяжести. Кварцевая система состоит из горизонтально расположенных цилиндрических пружин (1), закрученных маятником (7) с зеркалом (8), подвешенным на нитях (9). Нити (9) закручены в противоположную пружинам сторону для исключения дрейфа нуля гравиметра. Пружина (6) служит для увеличения чувствительности и удобства юстировки системы при ее отладке. Нижний конец пружины (6) связан с маятником, верхний приварен к кварцевой раме системы. Измерительная (4) и диапазонная (5) пружины посредством рамки (3), подвешенной на нитях (2), соединяются с чувствительной системой.

Весовой момент рамки (3) скомпенсирован относительно оси вращения.

Как показали исследования, дрейф нуля описанной системы при определенных углах закручивания пружин и нитей (9) может практически

отсутствовать ($\pm 0,01-0,02$ мГл/сут).

Температурная компенсация кварцевой чувствительной системы осуществляется методом изменения плеча маятника.

Угловая чувствительность системы с помощью пружины (6) может меняться в значительных пределах - от 1 до 50 /мГл.

Кварцевая система (22) размещена в герметичном корпусе (27) цилиндрической формы (рисунок 15). Система жестко крепится к монтажной металлической плате (18).

2. Фотоэлектрическое устройство служит для преобразования угловых перемещений зеркала маятника кварцевой чувствительной системы в электрический сигнал.

Устройство состоит из осветителя (16), зеркала маятника системы.

Принцип работы фотоэлектрического устройства следующий.

Световой поток от лампы осветителя падает на зеркало маятника чувствительной системы. Отраженный от зеркала и сфокусированный объективом световой поток попадает на дифференциальный фотоэлемент (ДФЭ) симметрично относительно продольного разреза, делящего фотоэлемент на две составляющие части. Маятник под действием приливных изменений ускорения силы тяжести совершает колебания, при этом световой поток перемещается по фотоэлементу. При движении светового потока вправо электродвижущие силы в правой составляющей части фотоэлемента увеличиваются, а в левой - уменьшаются. При движении светового потока влево картина меняется. В регистраторе, подключенном к фотоэлементам, появляется разностный ток, величина и направление которого будут меняться. В случае применения оптической регистрации световой поток от осветителя (7) через систему зеркал (6) попадает на зеркало гальванометра (3). Отраженный от зеркала гальванометра и сфокусированный на фотобумаге барабанной кассеты (5) световой блик будет писать кривую изменения ускорения силы тяжести.

В осветителе и узле крепления фотоэлемента фотоэлектрического устройства предусмотрены все необходимые юстировочные перемещения для

направления светового потока от зеркала маятника на фотоэлемент симметрично относительно его продольного разреза.

Осветитель монтируется на монтажной плате (18) вертикально по оси корпуса кварцевой системы. Он дает возможность фокусировать световой поток на расстоянии 170-200 мм от зеркала чувствительной системы. Лампа осветителя марки СЦ-79 (2,5; 0,2 в). Длина изображения нити лампы на фотоэлементе 18-20 мм.

Дифференциальный полупроводниковый фотоэлемент (ДФЭ) состоит из двух фотоэлементов прямоугольной формы, разделенных продольным разрезом и размещенных в герметично закрытом корпусе из органического стекла. В корпусе фотоэлемента предусмотрено квадратное отверстие для пропускания светового потока, герметично закрытое плоскопараллельной пластиной из стекла К-8. Размеры корпуса фотоэлемента ДФЭ 50x36x10 мм.

Фотоэлектрическая чувствительность по току каждой составляющей части фотоэлемента ДФЭ не ниже фотоэлектрической чувствительности ФЭСС-У10, при этом разность фотоэлектрической чувствительности по току составляющих частей фотоэлемента не превышает 3-5%.

Однако в отличие от фотоэлемента ФЭСС - У10 фотоэлемент ДФЭ не требует дополнительной герметизации и делительной призмы, обладает высокой линейностью, на его изготовление требуется в 4 раза меньше серебра 99,99, чем на фотоэлемент ФЭСС- У10, внешние размеры фотоэлемента ДФЭ в несколько раз меньше внешних размеров фотоэлементов ФЭСС-УЮ, размещенных в герметичном корпусе. Исследование фотоэлементов ДФЭ в течение длительного времени показало, что их фотоэлектрическая чувствительность по току остается постоянной. При дальнейшем совершенствовании фотоэлектрического устройства ГСГ возможен переход и к современным фотоэлектрическим линейкам.

Отсчетное микрометрическое устройство служит для замера линейных перемещений измерительной кварцевой пружины (рисунок 17). Точность отсчета - 0,5 мк. Шаг резьбы микрометрического винта 0,5 м. Исследования

показали, что погрешность шага между двумя любыми витками и суммарная погрешность винта на его рабочем ходу не более 0,002 мм.

Для изменения диапазона измерений предусмотрено устройство 7 для линейного перемещения диапазонной пружины чувствительной системы. Перемещение винта диапазонной пружины осуществляется с помощью специального ключа. Длина перемещения 7 мм. Погрешность шага и суммарная погрешность винта на его рабочем ходу не более 0,002 мм.

Термостат предназначен для поддержания заданной температуры в гравиметре. Термостат двухступенчатый состоит из двух цилиндрических металлических стаканов с крышками: внутреннего (6) и наружного (5). На образующей поверхности стакана, дне и крышке каждого термостата осуществляется бифилярная намотка основной и дополнительной обмотки печи. Предусмотрена возможность переключения мощностей: для внутренней печи на 3 и 6 Вт, для наружной печи на 6 и 12 Вт.

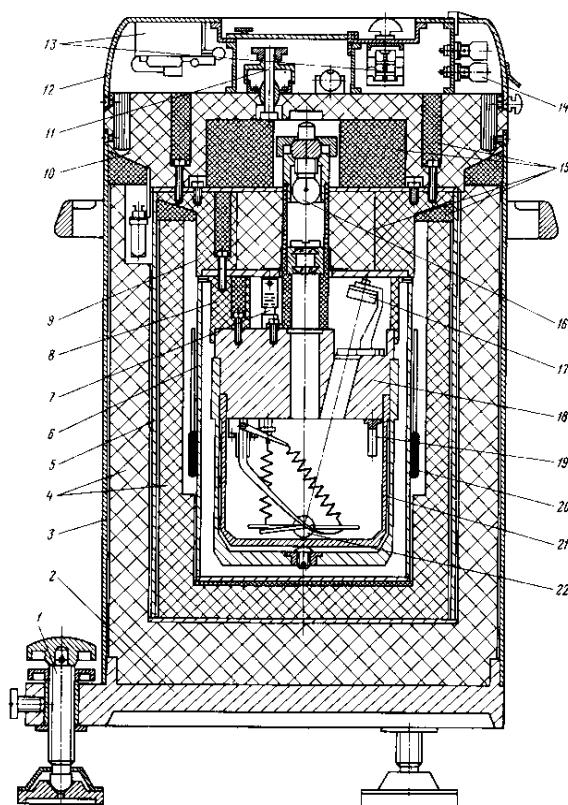


Рисунок 18 - Гравиметр ГКГ. Конструктивная схема.



Рисунок 19 - Стационарный кварцевый гравиметр системы Д.Г. Гриднева, установленный на постаменте № 2 в лаборатории № 2 (штольня, 41 пикет).

Термостат имеет четыре температуры термостатирования: 5° , 15° , 25° и 35°C . На внутреннем стакане размещены контактные ртутные термометры (20) марки ТК-34 на температуры контактирования 5° , 15° , 25° и 35°C , на наружном стакане — термометры на температуры контактирования $3,5^{\circ}$, $13,5^{\circ}$, $23,5^{\circ}$ и $33,5^{\circ}\text{C}$. Для питания термостата требуется 6 В постоянного тока, подаваемого на клеммы (14) (рисунок 18).

Режим работы термостата можно контролировать по показаниям амперметра, индикаторным лампам НСМ 10-55 (10 В, 50 м). Постоянно ведется регистрация температуры с помощью термографа сопротивления (19) (рисунок 18), вмонтированного внутрь корпуса кварцевой чувствительной системы. Внешняя печь термостата размещена в пенопластовом цилиндрическом чехле (4), все полости в монтажных текстолитовых втулках (8 и 9) и текстолитовой плате (10) заполнены поролоновыми прокладками (15).

Коэффициент термостатирования обеспечивает работу прибора при незначительных внешних колебаниях температуры ($0,1\text{-}0,2^{\circ}\text{C/сут.}$).

Цена малого деления микрометра, по данным предварительного эталонирования гравиметра наклоном, равна $0,01\text{-}0,02\text{ мГл}$. Эта цена в 4-8 раз меньше цены малого деления гравиметра GS-11 и в 8-16 раз меньше цены

малого деления гравиметра GS-12. Точность отсчета у гравиметров ГКГ выше, чем у известных гравиметров. Диапазон измерения гравиметра ГКГ (без перестройки диапазонной пружины) равен 14-28 мГл. Общий диапазон измерения (с перестройкой диапазонной пружины) равен 3-5 Гл. Здесь следует отметить, что кварцевые чувствительные системы дают возможность на порядок изменить диапазоны измерения относительно приведенных выше диапазонов. Это легко осуществить при изготовлении кварцевой чувствительной системы.

Коэффициент термостатирования прибора равен 180. Продолжительность входа термостата в рабочий режим при разности температур термостатирования и наружной 10°C около 50 ч (через 50 ч после начала включения термостата температура внутри корпуса чувствительной системы практически перестает изменяться).

Очень существенным вопросом является дрейф нуля гравиметров. Описанная выше кварцевая чувствительная система, конструкции Д.Г. Гриднева, позволяет получать практически неизменный нулевой пункт гравиметра. Дрейф нуля гравиметра практически отсутствует. Такой незначительный дрейф не всегда получается после первой отладки чувствительной системы. Обычно для этого требуется несколько последовательных юстировок, первая из которых заканчивается вводом в систему положительного дрейфа (маятник отклоняется вверх). Затем, уменьшая угол закручивания нитей подвеса маятника α , приводят дрейф нуля к величине, близкой к нулю. После каждой юстировки система исследуется не менее 3-4 мес., так как исследования на более коротких периодах могут привести к ошибочным выводам о юстировочных операциях. Обычно требуется не менее 3-4 юстировок чувствительной системы, прежде чем дрейф нуля гравиметра станет незначительным. На хорошую отладку кварцевой чувствительной системы требуется от 12 до 16 мес.

Исследования ГКГ показали, что работа всех его узлов полностью отвечает техническим требованиям, поставленным при проектировании.

Укажем, что приборы такого класса в России не производятся, а Канадский аналог стоит 250 000 долларов.

В заключение авторы считают своим долгом отметить, что успешное завершение работы по созданию опытного образца (макета) стационарного кварцевого гравиметра было возможно благодаря постоянной помощи со стороны Кабардино-Балкарского университета им. Х.М. Бербекова Министерства Образования и науки РФ.

1.1.3 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 (рисунки 19 и 20). Прибор расположен в штольне «Главная» на удалении 800 метров от входа в Баксанскую нейтринную обсерваторию ИЯИ РАН. 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 уникального, не имеющего аналогов в России, 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 $10^{-16} \text{ Гц}^{-1/2}$.

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» (оггибающая 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 в лазерной трубе).

Одна из основных задач интерферометра – Изучение деформационных процессов в районе Эльбрусского вулканического центра, получение фундаментальных знаний по собственным колебаниям Земли, мониторинг динамических процессов в районе Эльбрусского вулканического центра. Сегодня интерферометра органически вошел в состав Северокавказской геофизической обсерватории.

При исследовании магматических структур вулкана Эльбрус при помощи Лазерного интерферометра – деформографа нам впервые удалось наблюдать как магматическая камера и магматический очаг, расположенные в слоистом полупространстве, каким может быть представлена вулканическая постройка, порождают наведенные локальные волновые структуры.



Рисунок 20 - Главная штольня Баксанской нейтринной обсерватории. На переднем плане видно ограждение 70-метрового лазерного интерферометра - деформометра.

Собственные частоты таких вулканических образований были зафиксированы приборами Северокавказской геофизической обсерватории (рисунок 22 а,б,в,г). Было установлено, что спектр собственных колебаний магматических структур определяется их размером, конфигурацией и

взаимным расположением в геологической среде вулканической постройки [1, 2].



Рисунок 21 - Вакуумный насос лазерного интерферометра - деформометра.

Подобно тому, как масса магматической камеры или магматического очага является интегральным параметром вулканической структуры, и определяется распределением плотности в недрах вулкана, собственные частоты (собственные периоды колебаний) магматических структур также можно отнести к интегральным параметрам.

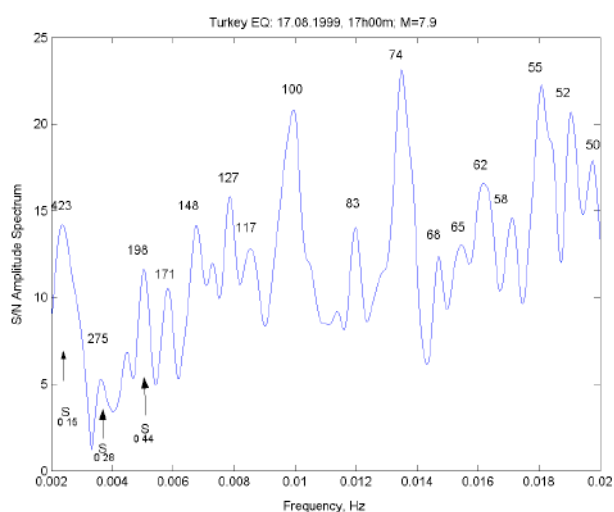


Рисунок 22а - Зависимость интенсивности собственных колебаний неоднородных структур вулкана Эльбрус от частоты по данным регистрации землетрясения в Турции. Указаны периоды отдельных мод (в секундах) [2, 3].

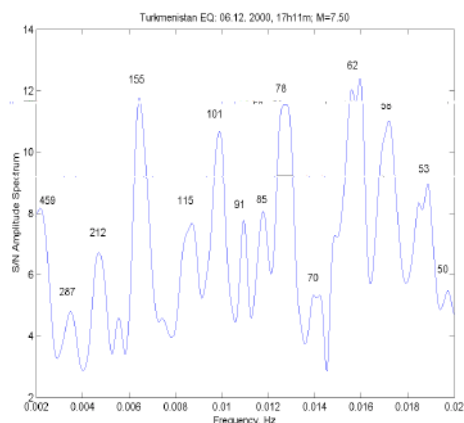


Рисунок 22б - Зависимость интенсивности собственных колебаний неоднородных структур (магматического очага и магматической камеры) вулкана Эльбрус от частоты по данным, полученным на лазерном деформографе, установленном в штольне Баксанской обсерватории. Источник возбуждения - землетрясение в Туркменистане [2, 3].

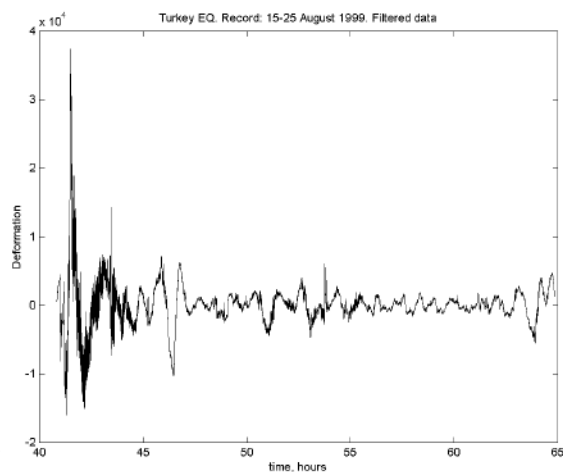


Рисунок 22в - Амплитудно-временная характеристика резонансного отклика геофизической среды на внешнее воздействие, обусловленное землетрясением в Турции [2, 3].

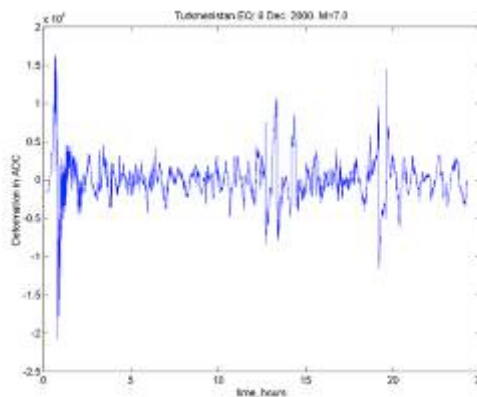


Рисунок 22г - Амплитудно-временная характеристика резонансного отклика геофизической среды в районе вулканической постройки на внешнее воздействие, обусловленное землетрясением в Туркменистане [2, 3].

Однако они зависят также и от распределения упругих характеристик, таких как: модуля сжатия, модуля сдвига, наличия расплава и летучих, а значит и от тонкой структуры гравитационного поля в недрах вулкана.

1.1.4 О влиянии регионального рельефа на приливные деформации в районе Эльбрусского вулканического центра

В процессе проведения наблюдений с использованием наклонометрических, деформационных и гравиметрических систем возникла необходимость построения технологии, которая позволяет оценивать влияние регионального рельефа и эффектов наличия полости (магматического очага или магматической камеры) на приливные деформации. Такая технология была построена впервые, а ее работоспособность проверена на примере Эльбрусского вулканического центра. Теоретические результаты были сопоставлены с данными натурных наблюдений, полученных при помощи наклонометрических станций и уникального 70-метрового интерферометра - деформографа.

Успешному решению этой сложной проблемы способствовало то, что в течение нескольких последних лет комплексная геолого-геофизическая экспедиция ИФЗ РАН, ИГЕМ РАН и КБГУ, в которую входили ученые и из других институтов Российской Академии наук и Высшей школы, ежегодно работает в районе Северного Кавказа. Она ведет полевые работы в районе Эльбрусской вулканической области по исследованию опасности возобновления вулканической активности на Кавказе. Основные усилия ученых направлены на комплексное изучение вулкана Эльбрус, который всей своей массой нависает над Северным Кавказом. Изучение структуры локальных неоднородностей в земной коре Приэльбрусья, в сочетании с активным сейсмическим зондированием, позволило выявить магматический очаг (кровля на глубине ~ 20 км, а подошва - ~ 40 км) и близповерхностную магматическую

камера (ее основание на глубине ~ 7 км), которая служила, в историческом прошлом, поставщиком магмы при извержениях вулкана Эльбрус.

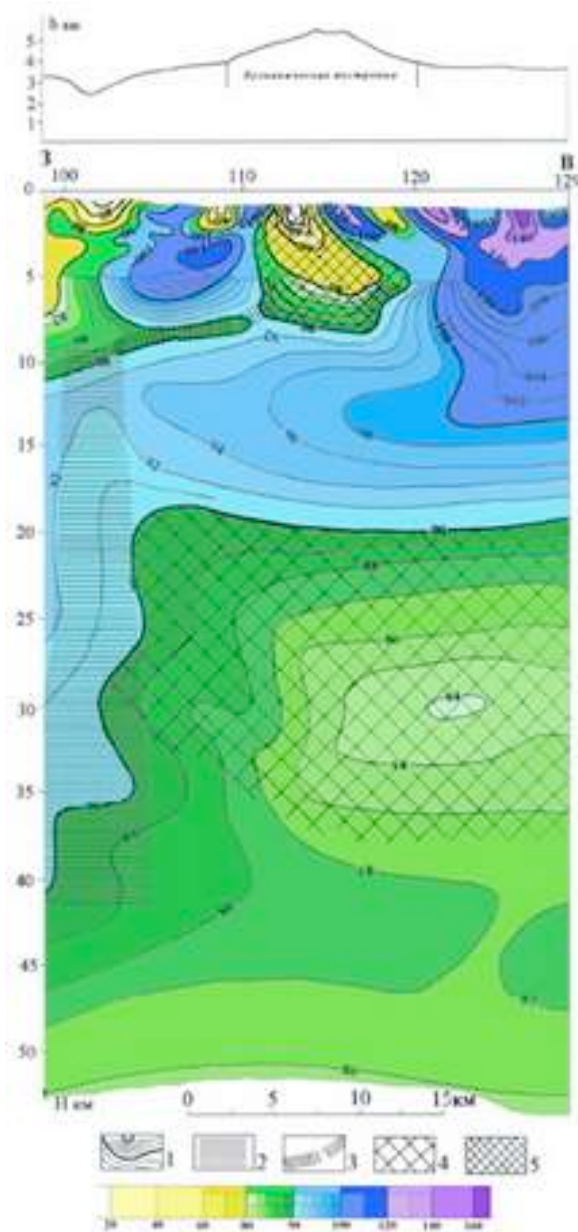


Рисунок 23а -
магматических

Структура
образований вулкана

Эльбрус. Разрез по методу Ю. В. Нечаева построен вдоль Кавказского поперечного поднятия.

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 перетока первичной магмы в 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 [4].

В процессе построения обобщающей технологии, позволяющей прогнозировать активность вулкана Эльбрус в будущем, необходимо было уточнить различными методами положение и размеры магматической камеры (камер) и магматического очага. В процессе проведения этих работ впервые удалось установить, что магматическая камера и магматический очаг имеют сложную структуру (рисунок 23а, б). Расположенные в слоистом полупространстве, каким представляется вулканическая постройка на всех этапах полевых работ, они порождают локальные резонансные эффекты. Собственные частоты таких магматических образований и их основные резонансные особенности могут быть определены экспериментально и проанализированы теоретически на примере полости соответствующей конфигурации в бесконечном пространстве, упругие характеристики которой соответствуют среде, содержащей магматический очаг или магматическую камеру [4, 5]. Спектр этих колебаний достаточно широк и определяется размером, конфигурацией и взаимным расположением магматических структур в неоднородной слоистой вулканической постройке [1, 2, 6, 7, 8].

Исследование магматической камеры и магматического очага методами сейсмического зондирования ставит ряд вопросов, ответ на которые можно получить, используя современные математические модели и численные методы. Сложная геологическая форма вулканической постройки Эльбруса и недостаточный объем информации о физико-механических свойствах магмы, находящейся как в магматическом очаге, так и в промежуточной камере, накладывают известные ограничения на развиваемые математические модели и определяют в конечном итоге степень их информативности [3]. В этой связи важное место в задачах мониторинга геологических структур сегодня отводится технологиям, основанным на моделях приливных деформаций и наклонов земной коры. Здесь для корректной оценки эффектов отклика ярко выраженной неоднородности (полости) на приливные воздействия необходимо учесть эффекты рельефа земной поверхности в окрестностях пунктов наблюдений.

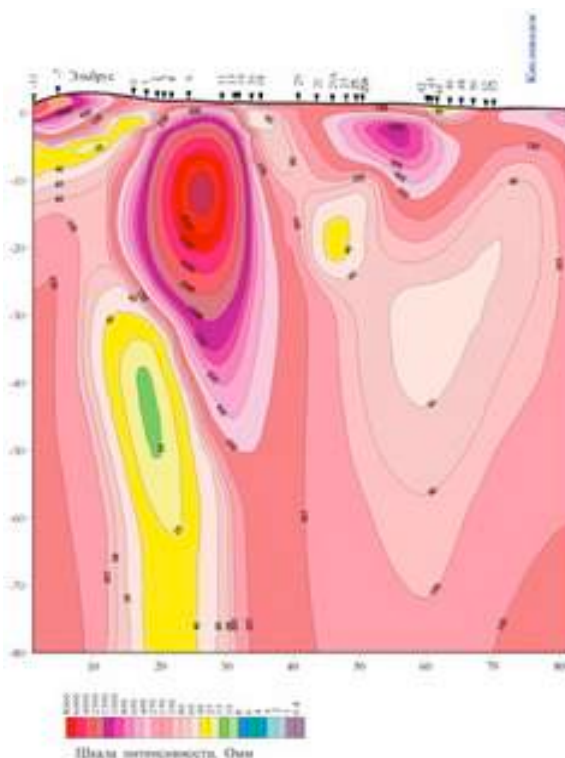


Рисунок 236 - Общая картина, дающая представление о размерах магматического очага и магматической камеры по данным магнитотеллурического зондирования, проведенного под руководством Арбузкина В.П. Профиль пройден с юга на север через вулканическую постройку вулкана Эльбрус. По оси ординат глубина в км., а по оси абсцисс расстояние в км. [1].

В работе [8] с этой целью использовалась упрощенная двумерная модель склона, определяемого в виде пересекающихся двух либо трех плоскостей. Расчеты эффектов топографии для этой модели были проведены лишь для членов первого порядка в теории возмущений в соответствии с теоретическими построениями работы. Однако такую оценку сегодня нельзя считать приемлемой по двум причинам:

1. Как было показано в работах российских ученых [9, 10], для простейших моделей поверхности оценки, основанные на методах конечных разностей, методе конечных элементов и методе возмущений, находятся в хорошем соответствии для углов $\alpha \sim 20^\circ$ при использовании теории возмущений первого порядка и $\alpha \sim 30^\circ - 35^\circ$ для теории возмущений второго порядка. Поскольку точность метода возмущений определяется в основном не сложностью рельефа, а значениями параметров α , этот вывод остается в силе и для реальных моделей рельефа, таких, как модель Баксанского ущелья; из-за

горного рельефа формулы первого порядка возмущений оказываются недостаточно точными (относительные ошибки поправок за рельеф к приливным наклонам и деформациям достигают 10-15%), и необходимо использовать формулы второго приближения (для которых погрешности составляют около 3-5%).

2. Необходимо учитывать более реальную картину рельефа, чем описанная выше упрощенная двумерная модель склона.

Ниже мы приводим результаты расчетов эффектов топографии с учетом членов второго порядка малости и для значительно более реалистичных моделей рельефа, полученных по спутниковым данным (для площади 100 км × 100 км и с разрешением по горизонтали 100 м × 100 м).

Ниже показано, что после учета эффектов топографии второго порядка, обнаруживавшиеся ранее, различия наблюдаемых и теоретических амплитуд приливных деформаций уменьшаются до величины, не превышающей ошибок наблюдений. Это значит, что по имеющимся к настоящему времени приливным данным можно оценить лишь верхнюю границу радиуса магматической камеры.

Этот радиус по нашим оценкам с использованием развиваемой технологии, составляет порядка 5 км, что находится в удовлетворительном согласии с данными полученных теоретически путем определения резонансных особенностей магматических образований. Приведем основные соотношения, использовавшиеся в наших расчетах. Поправки первого порядка к вектору приливных смещений на плоскости $z=0$ определяются соотношениями вида:

$$\begin{aligned} \vec{u}^{(1)}(x, y, z) \Big|_{z=0} = & - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [f_x^{(0)}(x', y') \vec{v}(x - x', y - y', z) + \\ & + f_y^{(0)}(x', y') \vec{w}(x - x', y - y', z)] dx' dy', \end{aligned} \quad (1)$$

где n_i и σ_{ik} - компоненты вектора единичной внешней нормали к земной поверхности и компоненты тенора невозмущенных приливных напряжений,

соответственно, а

$$f_x^{(0)}(x, y) = n_x \sigma_{xx}^{(0)} + n_y \sigma_{xy}^{(0)} = \sigma_{xz}^{(1)} \Big|_{z=0}$$

$$f_y^{(0)}(x, y) = n_x \sigma_{xy}^{(0)} + n_y \sigma_{yy}^{(0)} - \sigma_{yz}^{(1)} \Big|_{z=0}, \quad (2)$$

функции $\bar{v}(x - x', y - y', z)$ и $\bar{w}(x - x', y - y', z)$, которые определяются соотношениями вида:

$$4\pi\mu \bar{v} = \nabla \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} - \frac{x - x'}{R} \right) + \frac{2}{R} \bar{e}_x - \frac{2\mu}{\lambda + \mu} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{x - x'}{R + z} \right) \bar{e}_z; \quad (3a)$$

$$4\pi\mu \bar{w} = \nabla \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} - \frac{y - y'}{R} \right) + \frac{2}{R} \bar{e}_y - \frac{2\mu}{\lambda + \mu} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{y - y'}{R + z} \right) \bar{e}_z. \quad (3b)$$

Для наклонов и деформаций горизонтального и вертикального элементов внешней поверхности получим соответственно:

$$\begin{aligned} \varphi_x^{(1)}(x, y) &= \frac{\partial u_z^{(1)}}{\partial x} \Big|_{z=0} = \frac{1}{4\pi(\lambda + \mu)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_x^{(0)}(x', y') \left(-\frac{1}{\rho^2} + \frac{2(x - x')^2}{\rho^4} \right) + \\ &+ f_y^{(0)}(x', y') \frac{2(x - x')(y - y')}{\rho^4}] dx' dy'; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_x^{(1)}(x, y) &= \frac{\partial u_x^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=0} = \frac{1}{\mu} f_x^{(0)}(x, y) - \varphi_x^{(1)}(x, y); \\ &+ f_y^{(0)}(x', y') \frac{2(x - x')}{\rho^4}] dx' dy'; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{xx}^{(1)}(x, y) &= \frac{\partial u_x^{(1)}}{\partial x} \Big|_{z=0} = \frac{1}{4\pi\mu(\lambda + \mu)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_x^{(0)}(x', y') \left[\frac{\lambda(x - x')}{\rho^3} \times \right. \\ &\times \left(\frac{3(x - x')^2}{\rho^2} - 1 \right) + 2\mu \frac{x - x'}{\rho^3} \Big] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + f_y^{(0)}(x', y') \frac{\lambda(y - y')}{\rho^3} \left(\frac{3(x - x')^2}{\rho^2} - 1 \right) dx' dy', \\
e_{zz}^{(1)}(x, y) = \frac{\partial u_z^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=0} &= -\frac{1}{4\pi(\lambda + \mu)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(f_x^{(0)}(x', y') \frac{x - x'}{\rho^3} + f_y^{(0)}(x', y') \frac{y - y'}{\rho^3} \right) dx' dy'
\end{aligned} \tag{4}$$

где:

$$\rho = R \Big|_{z=0} = ((x - x')^2 + (y - y')^2)^{1/2}.$$

Соотношения (4) полностью определяют влияние рельефа земной поверхности на приливные наклоны и деформации в первом порядке теории возмущений. Поправки второго порядка определяются соотношением вида [9]:

$$\begin{aligned}
\vec{u}^{(2)}(x, y, z) = & - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_x^{(1)}(x', y') \vec{v}(x - x', y - y', z) + \\
& + f_y^{(1)}(x', y') \vec{w}(x - x', y - y', z) + f_z^{(1)}(x', y') \vec{q}(x - x', y - y', z) dx' dy',
\end{aligned} \tag{5}$$

где

$$f_i^{(1)}(x', y') = (n_x \sigma_{i1}^{(1)} + n_y \sigma_{i2}^{(1)} - z_0 \partial \sigma_{i3}^{(1)} / \partial z) \Big|_{z=0}; \tag{6}$$

$$\vec{q} = -\frac{1}{4\pi} \nabla \left(\frac{z}{\mu R} + \frac{\ln(z + R)}{\lambda + \mu} \right) + \frac{\lambda + 2\mu}{2\pi\mu(\lambda + \mu)R} \vec{e}_z.$$

$$\frac{\partial \sigma_{ik}^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=0} = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left(f_x^{(0)}(x', y') \frac{\partial S_{ik}}{\partial z} \Big|_{z=0} + f_y^{(0)}(x', y') \frac{\partial T_{ik}}{\partial z} \Big|_{z=0} \right) dx' dy'. \tag{7}$$

Здесь:

$$S_{xx} = -\frac{3}{2\pi} \frac{(x - x')^3}{R^5} + \frac{\mu}{2\pi(\lambda + \mu)} \left(\frac{x - x'}{R^3} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{x - x'}{R + z} \right) \right);$$

$$S_{xy} = -\frac{3}{2\pi} \frac{(x - x')^2 (y - y')}{R^5} + \frac{\mu}{2\pi(\lambda + \mu)} \left(\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{x - x'}{R + z} \right) \right);$$

$$\begin{aligned}
T_{xx} &= -\frac{3}{2\pi} \frac{(y-y')^2}{R^5} + \frac{\mu}{2\pi(\lambda+\mu)} \left(\frac{y-y'}{R^3} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(\frac{y-y'}{R+z} \right) \right); \\
T_{xy} &= -\frac{3}{2\pi} \frac{(x-x')(y-y')^2}{R^5} + \frac{\mu}{2\pi(\lambda+\mu)} \left(\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \left(\frac{y-y'}{R+z} \right) \right); \\
S_{xz} &= -\frac{3(x-x')^2 z}{2\pi R^5}; \\
S_{yz} &= -\frac{3(x-x')(y-y')z}{2\pi R^5}; \\
S_{zz} &= -\frac{3(x-x')z^2}{2\pi R^5}; \\
T_{xz} &= -\frac{3(y-y')^2 z}{2\pi R^5}; \\
T_{yz} &= -\frac{3(x-x')(y-y')z}{2\pi R^5}; \\
T_{zz} &= -\frac{3(y-y')z^2}{2\pi R^5};
\end{aligned} \tag{8}$$

где: S_{ik} - напряжения, возникающие в однородном упругом полупространстве от действия точечной силы, приложенной к точке поверхности $(x', y', 0)$;

T_{ik} – напряжения, соответствующие единичной силе, приложенной к той же точке и действующей вдоль оси y .

Соотношение (5-8) полностью определяет поправку к вектору упругих смещений второго порядка малости в объеме среды.

Члены второго порядка на поверхности состоят из поправок второго порядка на плоскости $z=0$ и первого члена в ряде Тэйлора, определяющего зависимость поправок первого порядка от глубины:

$$\vec{u}^{(2)} \Big|_S = \vec{u}^{(2)} \Big|_{z=0} + z_0(x, y) \partial \vec{u}^{(1)} / \partial z \Big|_{z=0}. \tag{9}$$

Градиенты компонент вектора $\vec{u}^{(2)} \Big|_S$, вычисленные в соответствии с соотношением (9), определяют поправки второго порядка к приливным

наклонам и деформациям во втором порядке теории возмущений.

Для численного моделирования эффектов топографии нами, кроме реальной модели топографии (модель 1), использована также и локальная модель топографии (представляющая собой сечение вертикальной плоскостью, ориентированной в направлении С-Ю), а также упрощенная локальная модель рельефа в виде трех плоскостей, две из которых горизонтальны, а третья расположена под углом, $\alpha=2,5^0$, соответствующем среднему наклону Баксанского ущелья в окрестностях пункта наблюдений:

$$n_x = \begin{cases} 0, & \text{если } x < x_1 \\ 0.725, & \text{если } x_1 < x < x_2 \\ \text{если } x > x_2 \end{cases}; \quad n_y = 0.$$

В таблице 1 представлены относительные величины поправок за рельеф к амплитудам суточных и полусуточных приливных деформаций $\delta A/A$ и поправки к фазам $\delta\phi$ в радианах для лазерного деформографа ГАИШ МГУ, установленного на расстоянии 700 метров от входа в штольню «Главная» Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН.

Поправки за рельеф посчитаны для моделей 1 и 2. Как видно из таблицы, поправки к амплитудам приливных деформаций для упрощенной локальной модели примерно в пять раз превосходят поправки для реальной модели топографии.

Таблица 1 - Относительные величины поправок за рельеф к амплитудам суточных и полусуточных приливных деформаций $\delta A/A$ и поправки к фазам $\delta\phi$ в радианах для лазерного деформографа ГАИШ (для моделей 1 и 2).

Модель 1.

$\delta A/A$ (E-W)	$\delta A/A$ (N-S)	$\delta\phi$ (E-W)
0,00067 (сут.)	0,051 (сут.)	-0,00045 (сут.)
0,00039 (полусут.)	0,00240 (полусут.)	(полусут.)

Модель 2.

$\delta A/A$ (E-W)	$\delta A/A$ (N-S)	$\delta \varphi$ (E-W)
0 (сут.)	0,284 (сут.)	0 (сут.)
0 (полусут.)	0,013 (полусут.)	0 (полусут.)

Чтобы понять причину этого противоречия, достаточно обратиться к рисунку 2, на котором представлены значения поправок в первом и втором порядках теории возмущений для упрощенной локальной модели рельефа (кривые 1, 2) и реальной локальной модели рельефа (кривые 3, 4).

Модель рельефа для реальной локальной модели представлена кривой 5; положение деформографа ГАИШ соответствует точке на оси абсцисс с порядковым номером 25.

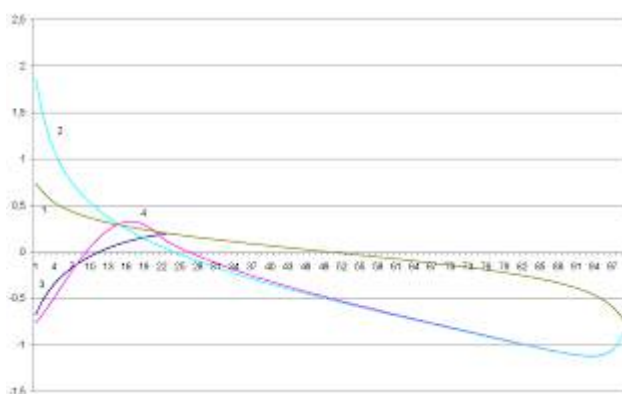


Рисунок 24 - Относительные поправки за рельеф к амплитудам приливных деформаций.

Поскольку интерферометр - деформограф ГАИШ МГУ находится в непосредственной близости от точки, где суммарные поправки первого и второго порядков обращаются в нуль; то поправки второго порядка, вообще говоря, довольно малые по сравнению с поправками первого порядка, в окрестностях пункта наблюдений имеют определяющее значение. Без учета эффектов второго порядка поправки за рельеф составляют около 20%, но после их учета те, же поправки составляют лишь около 2%. Эта величина не превосходит ошибок наших расчетов, и почти не превосходят ошибок деформометрических наблюдений (около 1%). С учетом поправок второго

порядка существенно меняются результаты геофизической интерпретации приливных данных. [8]: если в расчетах первого порядка возникало значимое противоречие между наблюдаемыми и теоретическими данными и приходилось делать предположение о существенном влиянии компенсирующих эффектов магматической полости на амплитуды приливных деформаций, то для более реалистичных моделей это влияние оказывается за порогом погрешностей наблюдений.

На рисунке 25 представлены значения поправок к амплитудам приливных деформаций для лазерного деформографа ГАИШ МГУ в зависимости от l и от радиуса магматической полости r , центр которой находится на глубине l под вершиной Эльбруса (значения l отсчитываются от уровня моря). Как видно из рисунка, для приемлемых значений l порядка 5-30 км верхний предел значений r , для которых эффекты полости превосходят погрешности наблюдений, составляет около 5 км.

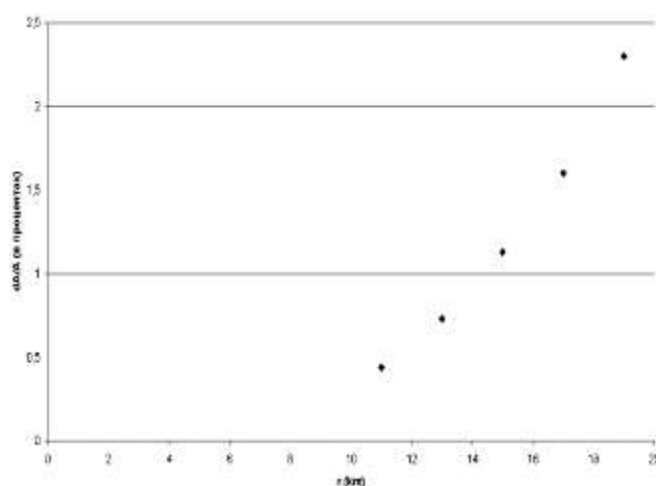


Рисунок 25 - Значения поправок к амплитудам приливных деформаций для лазерного деформографа ГАИШ МГУ.

Таким образом, после учета эффектов топографии второго порядка, обнаруживавшиеся ранее различия наблюдаемых и теоретических амплитуд приливных деформаций (около 20%) уменьшаются до величины, не превышающей ошибок наблюдений. Это значит, что по имеющимся к настоящему времени приливным данным можно оценить верхнюю границу радиуса магматической камеры вулкана Эльбрус, которая составляет 5 км.

1.1.5 Трёхкомпонентная магнитовариационная станция

Следующей информационно-измерительной системой, которая была изготовлена и установлена в лабораториях Северокавказской геофизической обсерватории, является трёхкомпонентная магнитовариационная станция (МВС).

Трёхкомпонентная цифровая магнитовариационная станция относится к прецизионным обсерваторским приборам стационарного типа.

МВС выполнена на основе кварцевых магнитных датчиков системы В.Н. Боброва и предназначена 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 26 приведена упрощенная схема измерения D составляющей. На кварцевой рамке (1) растянута кварцевая нить (2), на которой закреплено подвижное зеркало (3).

К зеркалу 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) и, следовательно, величина входного сигнала на входе усилителя (А) равна нулю.

В этом случае не протекает ток через обмотку обратной связи (L1).

В результате изменения магнитного поля Земли 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 (А) 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 и стабилизирует уровень поля в месте расположения измерительного магнита (4).

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).

Сносно 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.

Внешний вид станции приведен на рисунке 27. Габаритные размеры станции 400*250*150 мм. Общий вес без источника питания 5 кг.

На боковой стенке закреплен разъем (1).

На разъем выведены аналоговые выходные сигналы и калибровочные обмотки от каждого датчика.

На клеммы (2) подается напряжение питания.

В боковой поверхности корпуса имеются специальные окна (3) в рабочем режиме закрытые заглушками (на рисунке не показаны), а во время настройки облегчают правильную установку станции за счет визуального контроля совмещения подвижного и неподвижного зеркал.

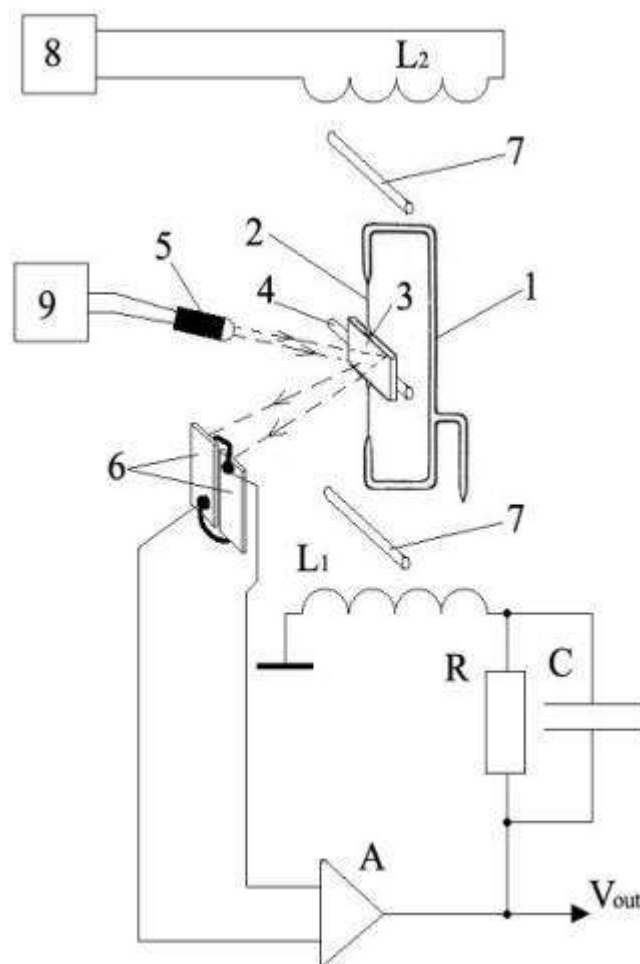


Рисунок 26 - Схема кварцевого магнитного вариометра: 1- кварцевая рамка; 2 - кварцевая нить; 3 - подвижное зеркало; 4 - измерительный магнит; 5 - светодиод; 6 - дифференциальный фотоэлемент; 7 - магниты изменения чувствительности; 8 - стабилизатор тока калибровки; 9 - стабилизатор тока светодиода; L1 - обмотка обратной связи; L2 - обмотка калибровки; A - операционный усилитель; R - резистор обратной связи; C - конденсатор обратной связи; V_{out} - напряжение пропорциональное изменению D составляющей магнитного поля.

Станция ориентируется по магнитному меридиану таким образом, чтобы окно (3) кварцевого датчика, измеряющего геомагнитное склонение, было направлено на запад.

Точную установку производят при спокойном поле за счет поворота станции, сводящего в ноль показания датчика склонения геомагнитного поля.

Для сравнения результатов наблюдений, полученных на Баксанской геофизической обсерватории, был выбран ряд станций близких по широте и долготе. В таблице 2 приведены координаты выбранных станций и сокращенные обозначения.

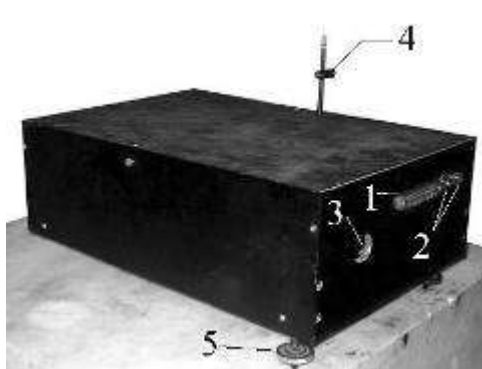


Рисунок 27 - Трехкомпонентная кварцевая магнитовариационная станция в сборе, установленная на постаменте.

Относительная нестабильность показаний во времени: 1-2 nT/year

Разрешение: <0.01 nT

Частотный диапазон: 0...1 Hz

Мощность потребления: < 0,1 W

Динамический диапазон: +-2000 nT

Напряжение питания источника постоянного тока: 5..15 V

Таблица 2 – Координаты выбранных станций и сокращенные обозначения.

Обсерватория	Широта	Долгота	Сокращения
Борок (Ярославская область)	58°18'N	38°54'E	BOX
Москва (г Троицк)	55°30'N	37°18'E	MOS
Сулари (Румыния)	44°42'N	26°18'E	SUA
Баксан (Нейтринная обсерватория)	43°16'N	42°41'E	BAK

Характерные магнитограммы вариаций магнитного поля Земли, расположенные по убыванию широты станции, приведены на рисунках 14-16.

При рассмотрении магнитограмм отмечается хорошее сходство, как по амплитуде, так и по форме. Это касается Н и D вариаций магнитного поля Земли.

Что касается Z вариаций, то здесь заметно различие по амплитуде и форме сигнала для пар станций Москва, Борок и Баксан, Сулари. Это объясняется различным расположением по широте и влиянием геологических структур в регионе. Наиболее сильное отличие наблюдается во время сильных

магнитных бурь, которые вызывают более слабое возмущение Z составляющей магнитного поля Земли.

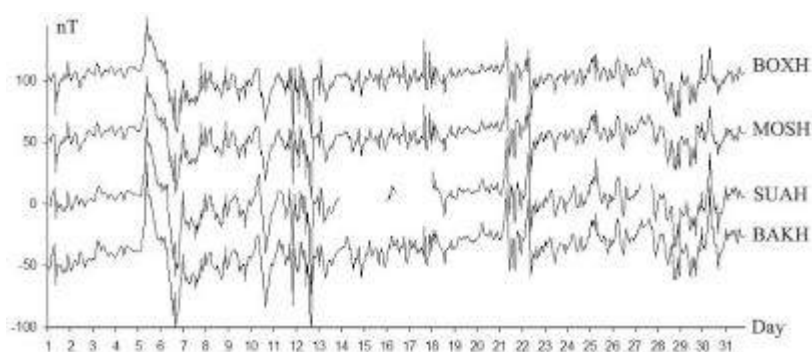


Рисунок 28 - Магнитограммы H вариаций магнитного поля Земли.

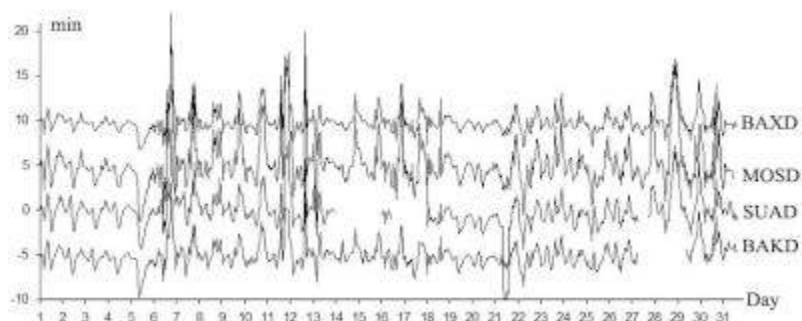


Рисунок 29 - Магнитограмма D вариаций магнитного поля Земли.

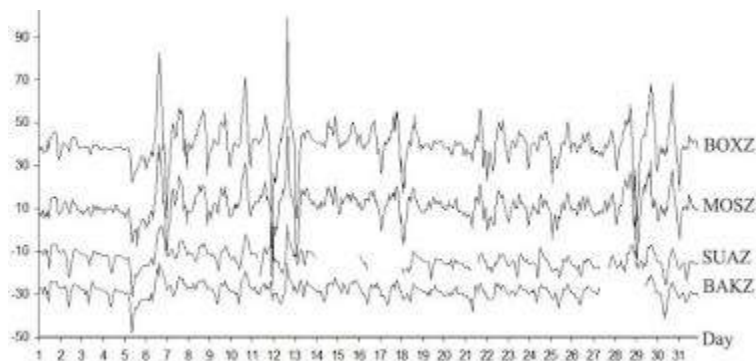


Рисунок 30 - Магнитограмма Z вариаций магнитного поля Земли.

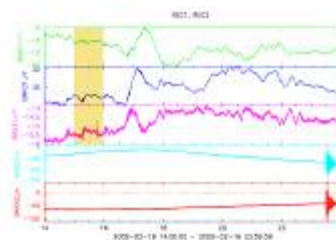
Результаты магнитных измерений дополняют общую картину геофизической обстановки в районе Эльбруса. В дальнейшем планируется размещение в этом районе ряда таких станций, если будут выделены соответствующие финансовые средства для их изготовления. При этом появится возможность мониторинга не только геомагнитной, но и сейсмической активности с возможностью выхода на предсказания местных катастрофических событий.

Детальный анализ магнитных возмущений перед сильными сейсмическими событиями выполнен в предыдущем отчете по НИР. Поэтому здесь мы приведем только некоторые примеры, которые дают общую характеристику обнаруженных сигналов и позволяют прогнозировать их использование в будущем. В первую очередь обратимся к землетрясению, которое произошло в Южной Греции.

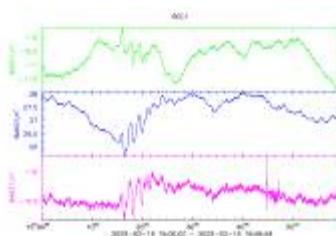
Параметры землетрясения
date= 16-Фев-2009 23:16:39.0 lat= 37.48 lon= 21.04
depth= 10km mb: 5.6/7



Рисунок 31 - УНЧ магнитное возмущение землетрясения в Южной Греции.



а



б

Рисунок 32 - ВАКН1 - показания Н компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ. ВАКД1 - показания D компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ. ВАКЗ1 - показания Z компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ. ВАКЕ2 - показания наклономера E-W на 15 пикете Баксан, ms. ВАКН2 - показания наклономера N-S на 15 пикете Баксан, ms.

Эпицентр события находился в океане, а непосредственно перед самым сейсмическим событием (за 2 часа) нами было зафиксировано магнитное УНЧ возмущение (рисунки 33 и 34).

Параметры землетрясения
date= 19-Mar-2009 18:17:38.8 lat= -23.16 lon= -174.63
depth= 33km ms: 7.4/14 mb: 7.2/14



Рисунок 33 - УНЧ магнитное возмущение.

Нетрудно заметить, что за 6 часов до начала рассматриваемого сейсмического события удастся выделить характерное УНЧ магнитное возмущение. Какова причина появления таких магнитных возмущений, которые в ряде случаев могут рассматриваться как предвестники геофизических катастроф? На этот вопрос ответа пока нет. Очень интересный по форме сигнал появился перед землетрясением, которое произошло в районе островов Тонго.

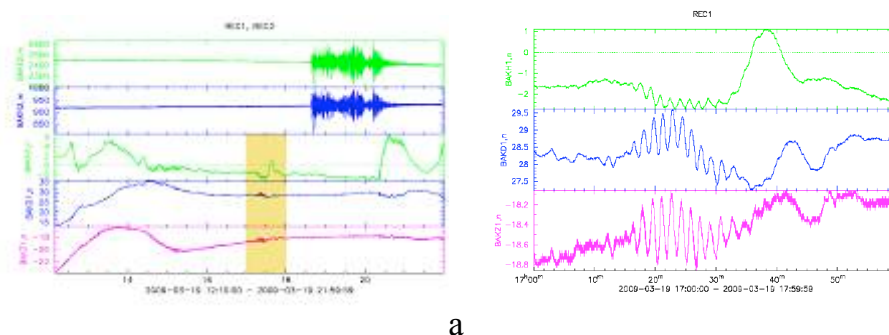


Рисунок 34 - ВАКН1 - показания Н компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ. ВАКD1 - показания D компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ. ВАКZ1 - показания Z компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ. ВАКЕ2 - показания накломера E-W на 15 пикете Баксан, ms. ВАКN2 - показания накломера N-S на 15 пикете Баксан, ms.

Возмущение имеет явно выраженную квазигармоническую форму, что указывает на наличие мощных геологических образований резонансного типа в эпицентральной зоне.

Характеризуя затронутую проблему, обратимся к еще одному экспериментальному результату и проанализируем более подробно цунамигенное землетрясение, которое произошло 12 сентября 2007 года в 20 часов 40 минут, район Южной Суматры, Индонезия (рисунок 34а,б).

На рисунке 35а приведены записи вариаций геомагнитного поля по трем компонентам (H, D, Z) магнитовариационной станции и изменения наклонов (Север-Юг, Восток-Запад) в период развития и протекания цунамигенного сейсмического события в районе южной Суматры 12 сентября 2007 г., глубина очага в море – 33 км.

Магнитуда этого сейсмического события составила величину 7,9. Здесь аномальное квазипериодическое возмущение, наблюдалось по всем трем каналам магнитного вариометра более чем за три часа до начала землетрясения. Максимальная амплитуда возмущения составила величину около 3,0 нТ.

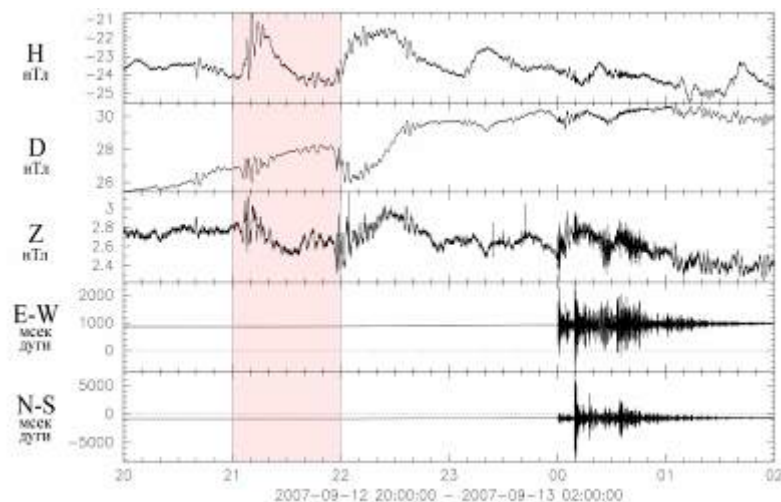


Рисунок 35а - Землетрясение в районе Южной Суматры 12.09.2007. Выделена область начала формирования выраженных УНЧ возмущений, зарегистрированных магнитными вариометрами и наклономерами Геофизической обсерватории.

Примерно за три часа перед землетрясением на записях наших магнитных вариометров наблюдаются квазигармонические УНЧ геомагнитные

возмущения с периодом до 150 с (рисунок 34б). Сигналы отмечались и в процессе развития сейсмического события вплоть до 02 часов 13 сентября 2007 года.

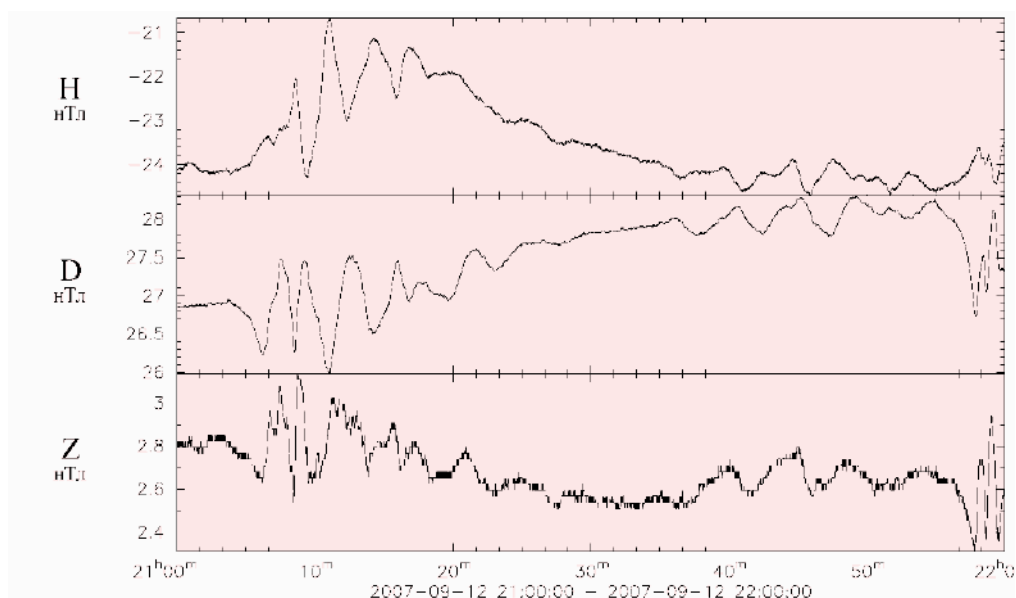


Рисунок 35б - Волновые формы УНЧ геомагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось, начиная с 21 часа, 40 минут (т.е. за 3 часа) перед цунамигенным землетрясением в районе южной Суматры 12.09.2007. Лаборатория №1 Северокавказской геофизической обсерватории

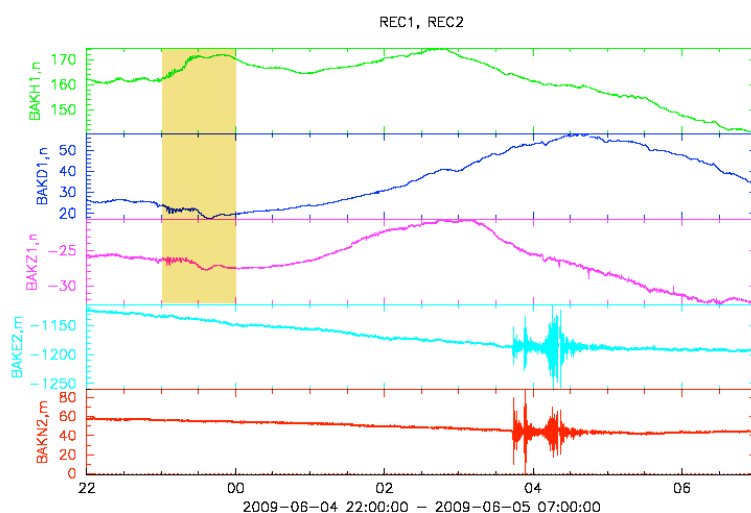


Рисунок 36а - Землетрясение в районе о. Хоккайдо, Япония 05июня-2009г. Желтым цветом выделены квазигармонические УНЧ возмущения, зарегистрированные магнитными вариометрами (три верхних записи, по каналам H, D, Z) и наклономерами Лаборатории № 2 Северокавказской геофизической обсерватории.

Таким образом, генерация УНЧ магнитных возмущений продолжалась на всех этапах протекания деформационных процессов в развивающейся эпицентральной зоне. В момент сейсмического удара было зафиксировано усиление возмущения по вертикальному каналу Z (рисунок 36а и 36б).

Отметим, что до начала землетрясения сейсмический и электромагнитный фон в регионе был спокойным (рисунок 36а). И только в 20 часов 40 минут по всем трем каналам магнитных вариометров были отмечены выраженные квазипериодические волновые формы геомагнитных возмущений, которые по своей тонкой структуре отличаются от вариаций естественного геомагнитного поля Земли (рисунок 35б).

Чтобы выяснить, как проявляются особенности геологического строения зоны будущего сейсмического события в структуре геомагнитных возмущений, обратимся к другому региону и проанализируем запись землетрясения, которое произошло 05 июня-2009г в районе о. Хоккайдо, Япония (рисунок 36а,б).

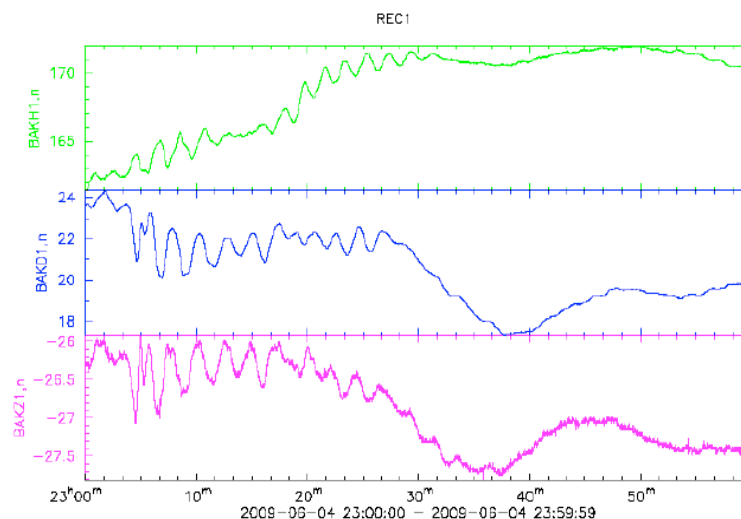


Рисунок 36б - Волновые формы УНЧ геомагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось, начиная с 23 часов, 30 минут (т.е. за 4 часа) перед землетрясением в районе острова Хоккайдо, Япония, 05 июня-2009г. Лаборатория №1. Северокавказской геофизической обсерватории.

За 4 часа 30 минут по каналам магнитно вариационной станции здесь удастся выделить характерное квазипериодическое УНЧ возмущение, волновая

форма которого отличается от волновых форм геомагнитных возмущений, наблюдаемых нами перед землетрясением в районе южной Суматры.

Полученные экспериментальные результаты дают основания полагать, что надежная регистрация отмеченного класса геомагнитных возмущений современными магнитными вариометрами возможна перед крупными землетрясениями с магнитудой более 6-7. Следовательно, работы по затронутой проблеме необходимо продолжать, при этом основные усилия должны быть направлены на создание новых и совершенствование специализированных аппаратных комплексов. Проведенные экспериментальные наблюдения УНЧ электромагнитных возмущений, регистрируемых на этапе подготовки сильных сейсмических событий, показывают, что уже сегодня эта информация является практически значимой.

1.1.6 Система геотермии и климатконтроля Северокавказской геофизической обсерватории

В процессе проведения научных исследований возникла необходимость создания системы геотермии и климатического контроля Северокавказской геофизической обсерватории. Авторским коллективом был изготовлен один комплект стационарной системы с высокой разрешающей способностью. Система установлена в лаборатории № 2 и позволяет изучать распределение температур, обусловленных естественным глубинным полем Земли, выявлять местные аномалии плотности теплового потока, возникающие в связи с различными термодинамическими и физико-химическими процессами в горных породах вокруг вырубки.

В состав системы геотермии входит многоточечный цифровой термометр, канал измерения относительной влажности воздуха и канал измерения атмосферного давления с температурной компенсацией.

Основные параметры цифрового термометра:

- максимальное число точек измерения – 8,

- расстояние между точками измерения – 10 м,
- разрешающая способность – 0,03125°C,
- минимальный интервал времени между измерениями – 1 с,
- канал связи с контроллером – двухпроводный последовательный интерфейс.

Основные параметры канала измерения относительной влажности воздуха:

- диапазон измерения относительной влажности – от 0 до 100%,
- разрешающая способность – 0,1%,
- максимальная погрешность в диапазоне (0 – 100)%, при 25°C – 2%,
- время отклика при 25°C – не более 50 с.

Основные параметры канала измерения атмосферного давления:

- максимальное рабочее давление – 103 кПа,
- разрешающая способность – 100 Па,
- максимальная погрешность – 0,2%,
- автоматическая калибровка,
- компенсация температурного дрейфа.

Общие параметры системы:

- самодиагностика системы при подаче питания,
- программируемый интервал опроса датчиков от 1с до 3600 с,
- автоматическое исключение аварийного датчика,
- энергосберегающая технология сбора данных,
- встроенная подсистема реального времени,
- два дискретных канала управления внешними устройствами,
- минимальный объем энергонезависимой памяти – 32 Мб,
- интерфейс канала связи с хост-машиной – EIA/TIA-232E,
- минимальное напряжение изоляции барьера канала связи – 1000 В,
- основное питание от AC/DC адаптера ~220В/=12В,
- встроенная батарея резервного питания на 30 суток автономной

работы,

- максимальная потребляемая мощность – 0,3 Вт,
- степень защиты конструкции от внешней среды – IP67,
- диапазон рабочих температур – от минус 40°C до плюс 85°C.

Электроника системы размещена в герметичном контейнере из поликарбоната размерами 120x122x56 мм. На боковых стенках контейнера установлены герметичные соединители типа РСГС для присоединительного монтажа, датчик влажности в перфорированном металлическом корпусе, индикатор готовности. Внутри корпуса размещается пакет с поглотителем влаги.

Измерительный шлейф протяженностью 70м с цифровыми термометрами выполнен на основе гибкого кабеля «витая пара» в экране STP2-24SR5. Шлейф присоединяется к блоку электроники при помощи соединителя PC10TB. Цифровые термометры установлены на массивных дисках из меди и оборудованы полимерной оболочкой для защиты от окружающей среды. Исключение составляет термометр с адресом #0, установленный внутри герметичного контейнера системы.

Интерфейсный кабель длиной 5м для подключения системы к хост-машине оборудован соединителями D9BF и PC4TB.

В качестве основного источника питания используется конвертор KBM020-12M.

Для моделирования системы использовалась оценочная плата AS-megaM.

На рисунке 37а,б представлены основные узлы рабочего макета системы.

По функциональным признакам система геотермии и климатического контроля относится к многоканальным распределенным системам сбора данных с централизованным управлением. Система обеспечивает нормализацию, дискретизацию и кодирование сигналов от аналоговых датчиков влажности и абсолютного давления. По магистрали двухпроводного последовательного интерфейса I2C осуществляется сбор дискретной информации от 8 пространственно разнесенных цифровых термометров.

Система оборудована двумя выходными дискретными каналами с гальванической развязкой для управления внешними устройствами, такими как кондиционеры, системы тревожной сигнализации, индикаторы.

Ядро измерительной системы построено на RISC-контроллере фирмы ATMEL.

Микроконтроллер обеспечивает несколько режимов энергосбережения и содержит широкий набор периферийных устройств на кристалле:

- программируемая в системе Flash-память емкостью 8 кБ;
- ОЗУ данных емкостью 1 кбайт;
- EEPROM емкостью 512 байт;
- 6-канальный АЦП последовательного приближения;
- подсистема реального времени с собственным резонатором;
- байтовый двухпроводный интерфейс TWI;
- программируемый последовательный интерфейс USART;
- сторожевой таймер.

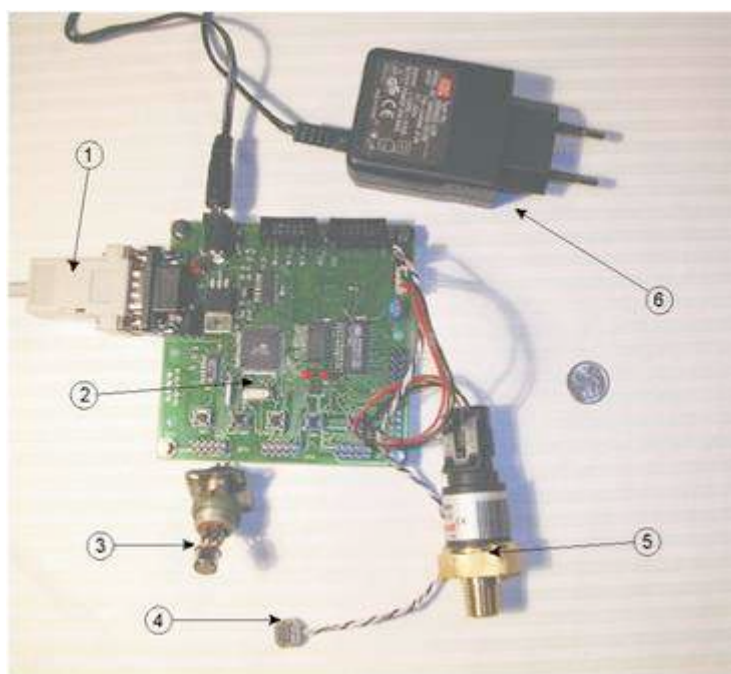


Рисунок 37а - Основные узлы рабочего макета системы.

Цифры выносных линий на снимке соответствуют следующим узлам системы:

1 – интерфейсный кабель связи с хост-машиной;

- 2 – плата микроконтроллера;
- 3 – компенсированный датчик влажности;
- 4 – цифровой термометр с адресом #0;
- 5 – компенсированный датчик абсолютного давления;
- 6 – адаптер питания системы.

На рисунке 376 (фото 2) показана конструкция датчика влажности со снятым кожухом, а на фото 3 – конструкция цифрового термометра, установленного на печатной плате.



Фото 2



Фото 3

Рисунок 376 - Конструкция датчика влажности со снятым кожухом.

По функциональным признакам система геотермии и климатического контроля относится к многоканальным распределенным системам сбора данных с централизованным управлением. Система обеспечивает нормализацию, дискретизацию и кодирование сигналов от аналоговых датчиков влажности и абсолютного давления. По магистрали двухпроводного последовательного интерфейса I2C осуществляется сбор дискретной информации от 8 пространственно разнесенных цифровых термометров. Система оборудована двумя выходными дискретными каналами с гальванической развязкой для управления внешними устройствами, такими как кондиционеры, системы тревожной сигнализации, индикаторы.

Ядро измерительной системы построено на RISC-контроллере фирмы ATMEL.

Микроконтроллер обеспечивает несколько режимов энергосбережения и

содержит широкий набор периферийных устройств на кристалле:

- программируемая в системе Flash-память емкостью - 8 кБ;
- ОЗУ данных емкостью - 1 кбайт;
- EEPROM емкостью - 512 байт;
- 6-канальный АЦП последовательного приближения;
- подсистема реального времени с собственным резонатором;
- байтовый двухпроводный интерфейс TWI;
- программируемый последовательный интерфейс USART;
- сторожевой таймер.

Электрическая схема контроллера системы представлена на рисунке 38.

Микроконтроллер U7 работает от встроенного калиброванного осциллятора с частотой 4 МГц. Внешний резонатор Y1 с частотой 32768 Гц предназначен для тактирования подсистемы реального времени.

Основной цикл микроконтроллера организован следующим образом. Подсистема реального времени циклически формирует внутреннее прерывание. Период цикла хранится в памяти микроконтроллера и при необходимости легко изменяется хост-машиной. При возникновении прерывания микроконтроллер выходит из режима ожидания, запускает измерение температуры синхронно для всех термометров, преобразует сигналы датчиков влажности и давления в числовой код, принимает обновленные коды цифровых термометров, выполняет предварительную обработку поступившей информации, формирует блок данных с этикеткой и помещает его в энергонезависимую память, сообщает хосту о готовности данных. При своевременном ответе хоста микроконтроллер передает блок данных в сопровождении контрольной суммы и возвращается в режим ожидания с минимальным энергопотреблением. При наступлении таймаута, когда хост не реагирует на сигнал готовности данных в системе сбора, микроконтроллер и все периферийные устройства переходят в режим ожидания. По инициативе хоста данные могут быть считаны из энергонезависимой памяти контроллера в любое время, полностью или частично.

Магистраль с цифровыми термометрами подключается к соединителю XP3 «TWI». По линии SCL передаются сигналы тактирования, а по линии SDA – команды и данные. Две другие линии используются для питания датчиков магистральной. Для защиты контроллера от электростатических и наведенных высоковольтных перенапряжений со стороны длинной линии магистральной TWI в кабельной части соединителя установлена защита в виде симметричных сапрессоров SMP75-8.

Термометр с адресом #0 установлен в непосредственной близости с датчиками влажности и давления внутри контейнера, а текущий код термометра учитывается программой микроконтроллера при расчете относительной влажности и абсолютного давления.

Датчик давления U11 типа ST015PG2BPCF фирмы Honeywell подключен к первому каналу АЦП. Этот датчик имеет встроенную систему температурной компенсации. Но полная шкала выходного напряжения простирается от 500 мВ до 4500 мВ при изменении давления в диапазоне от 0 до 103 кПа, что не совпадает с входными характеристиками АЦП. Для масштабирования сигнала датчика на входе АЦП установлен прецизионный аттенюатор, смещение и крутизна преобразования датчика хранятся в памяти контроллера и учитываются при обработке результата.

Датчик влажности U10 типа НН-3602-С фирмы Honeywell подключен ко второму входу АЦП. Крутизна преобразования и начальное смещение выходного напряжения сенсора указаны в сертификате конкретного прибора. Эти константы также учитываются при обработке результатов измерений.

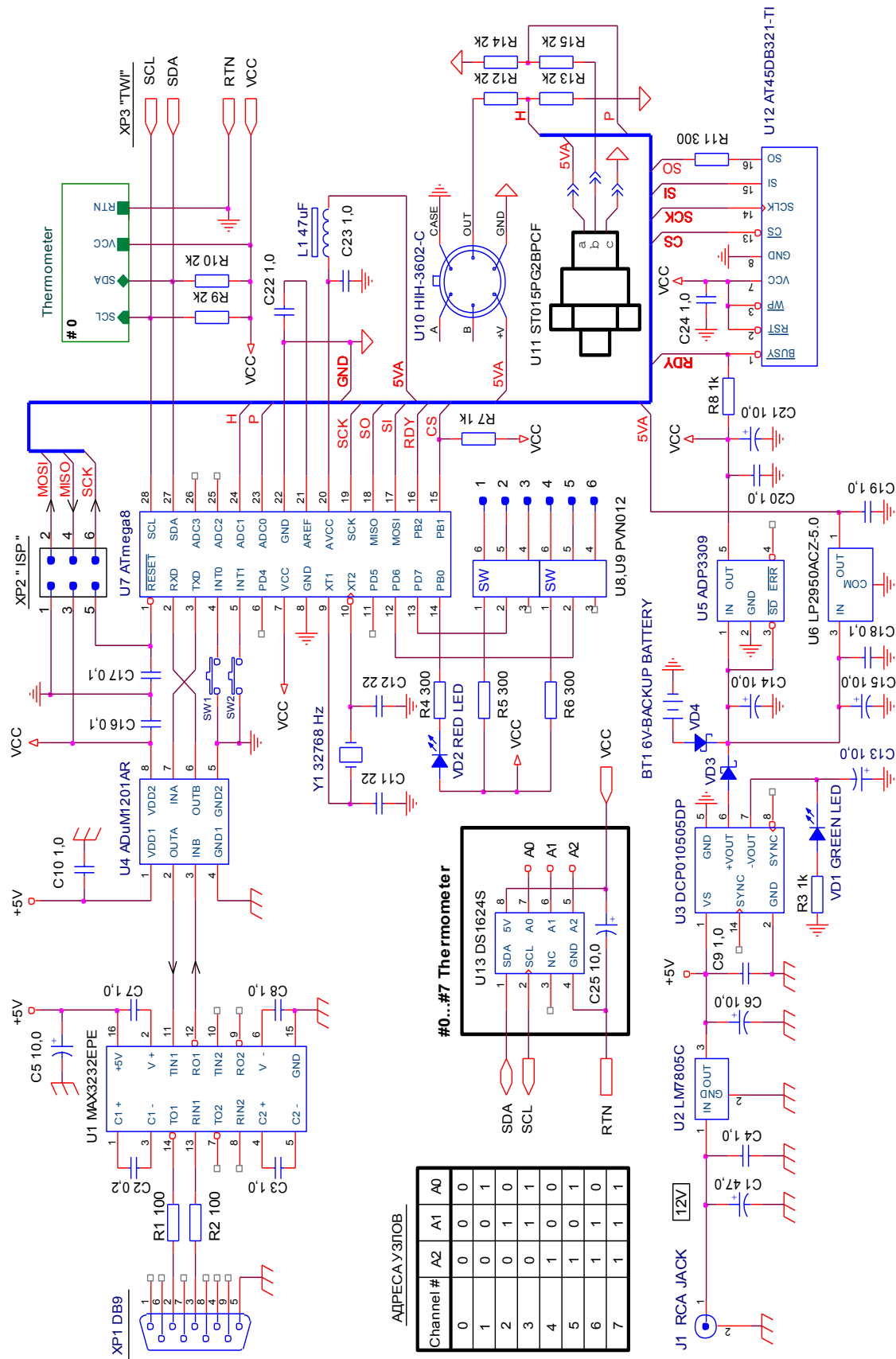
Энергонезависимая память U12 подключена к последовательному интерфейсу SPI. Для устранения влияния хост-машины на результаты измерений используется изолированный канал связи системы с хостом. Схема преобразователя интерфейса U1 формирует уровни спецификации EIA/TIA-232E. Схема U4 служит изолированным трансивером для микроконтроллера и хост-машины. Схема вторичного источника питания также имеет гальваническую развязку для снижения влияния промышленных помех

первичной сети на результаты измерений. Напряжение 12В от адаптера поступает на схему компенсационного стабилизатора U2. С выхода этой схемы напряжение 5В поступает на схему изолирующего DC/DC конвертера U3 и схему преобразователя интерфейса U1. Для питания внутреннего ядра системы используется локальный стабилизатор U5 на напряжение 3,0В, а для питания датчиков влажности и давления - «low dropout» стабилизатор U6 напряжением 5,0 В.

Схема контроллера содержит источник резервного питания, в качестве которого используется небольшой аккумулятор BT1 с номинальным напряжением 6В и коммутирующие диоды VD3, VD4. Красный индикатор включается при наличии ошибки инициализации, зеленый индикатор светится при исправном источнике первичного электропитания. Программное обеспечение микроконтроллера хранится во встроенной Flash памяти, которая допускает многократное программирование в системе. Параметры инициализации системы по умолчанию, например, период цикла опроса каналов, крутизна преобразования датчика и т.п. хранятся в перепрограммируемой памяти EEPROM.

При запуске системы от хост-машины контроллеру передается пакет с параметрами конфигурации системы. После декодирования пакета параметры рабочего задания помещаются в ячейки EEPROM с фиксированными адресами и остаются неизменными на протяжении текущего эксперимента. При запуске системы в автономном режиме параметры эксперимента считываются из начального массива EEPROM, содержащего параметры системы по умолчанию.

После копирования параметров эксперимента в оперативную память микроконтроллер выполняет инициализацию собственной периферии и всех внешних устройств. В ходе инициализации формируется набор данных – текущий статус устройства, который сохраняется в памяти и транслируется хосту. Анализ текущего статуса позволяет судить о состоянии измерительных каналов системы на момент инициализации. По инициативе хоста либо при возникновении ошибки опроса канала осуществляется модификация статуса.



Channel #	A2	A1	A0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

АДРЕСАУЗЛОВ

Рисунок 38 - Электрическая схема контроллера системы геотермии и климатического контроля Баксанской геофизической обсерватории.

Основной цикл программы осуществляет периодический опрос активных каналов при возникновении прерывания от модуля подсистемы реального времени, обработку данных, запись во внешнюю память, вычисление контрольной суммы, формирование пакета и передачу пакета хосту.

Протокол обмена с хостом поддерживает пакетный принцип передачи команд и данных. Каждое сообщение группируется в набор байт, именуемый

кадром. Для каждого измерительного канала отводится поле длиной 2 байта.

Кадр начинается с байта синхронизации $SYNC = 54h$. За ним следует байт заголовка HDB, содержащий служебную информацию, затем – байт NDB, содержащий длину сообщения в байтах N, далее – блок данных/параметров $DB(N-1)...DB0$, и завершают кадр два байта CRC1 и CRC0 циклической контрольной суммы CCITT-16. Таким образом, максимальная длина кадра данных составляет 25 байт.

Для защиты передаваемых данных используется циклическая контрольная сумма с порождающим полиномом $X^{16}+X^{12}+X^5+1$ и начальным остатком 0000h. Контрольная сумма определяется по всем байтам кадра за исключением байта синхронизации.

Программное обеспечение хост-машины состоит из резидентной программы сбора данных и программы для работы с данными PowerGraph 3.3.

Резидентная программа реагирует на возникновение коммуникационного прерывания последовательного порта.

Поступающие данные размещаются в кольцевом буфере программы, затем осуществляется проверка целостности блока путем вычисления контрольной суммы по алгоритму CCITT-16. Если в результате вычисления возвращается нулевой результат, данные копируются на жесткий диск хоста.

При ненулевом результате вычислений осуществляется повторный запрос блока данных из памяти контроллера. Осуществляется дополнительный контроль «на лету» флагов служебного байта. Это позволяет обнаружить возникновение аппаратных коллизий и внезапные отказы оборудования, например, при обрыве магистрали цифровых термометров. При создании соответствующего драйвера устройства регистрация данных возможна и встроенными средствами PowerGraph 3.xx. в среде Windows XP.

Назначение программного обеспечения PowerGraph 3.3.

1. Сбор данных с различных измерительных устройств и приборов.
2. Регистрация и визуализация данных в режиме реального времени.
3. Редактирование, математическая обработка и анализ данных.

4. Хранение, импорт и экспорт данных.

Функциональные возможности PowerGraph 3.3.

1. Поддержка различных систем сбора данных:

- расширяемая библиотека драйверов, включающая платы и модули АЦП, измерительные приборы, виртуальные генераторы сигналов, компьютерные устройства ввода и звукозаписи;

- возможность подключения новых устройств и источников данных;
- поддержка управляющих компонентов (цифровые входы/выходы,

ЦАП'ы и др.).

2. Регистрация данных:

- предварительный мониторинг входных сигналов;
- независимая настройка и калибровка каналов;
- возможность ввода любых единиц измерения;
- выбор произвольного набора каналов для регистрации;
- поддержка различных скоростей записи;
- последовательная запись данных блоками в один файл;
- аппаратная и программная синхронизация сбора данных с использованием таймеров и счетчиков, а также по уровню сигнала с записью пред- и пост-истории;

- автоматическое сохранение параметров регистрации (дата и время начала записи, тип устройства, скорость и длительность записи);

- возможность ввода произвольного текста для каждого блока и для всего файла (заметки и комментарии пользователя, протокол эксперимента).

3. Визуализация данных:

- эффективная система графического представления больших объемов данных;

- удобная система навигации и поиска данных;
- выбор произвольного набора каналов для отображения;
- свободное позиционирование и масштабирование графиков;

- изменение цвета и стиля графиков и сетки;
- печать графиков и сетки в масштабе миллиметровой бумаги.

4. Редактирование данных:

- использование стандартных операций редактирования и монтажа данных;
- возможность выделения участка данных для редактирования и анализа;
- добавление к текущей записи данных из других файлов;
- изменение последовательности записанных блоков данных;
- прореживание и усреднение данных по времени;
- корректировка данных с использованием статистических значений;
- графическое редактирование отдельных значений.

5. Обработка данных:

– обширная библиотека функций математической обработки данных: арифметические и логические операции с каналами, корректировка и калибровка данных, статистические вычисления, частотная и амплитудная фильтрация сигналов, дифференцирование и интегрирование сигналов, расчет параметров циклических сигналов, тригонометрические, логарифмические и другие математические функции;

- математическая обработка сигналов в реальном времени;
- создание новых каналов с расчетными данными;
- неограниченное количество промежуточных вычислений;
- запись протокола вычислений в командный файл для повторного использования комплексных алгоритмов математической обработки данных.

6. Анализ данных:

- определение параметров сигналов по графикам с помощью скользящих маркеров;
- дополнительные графические построения (проекции, касательные прямые);

- многофункциональный анализатор спектра: построение различных типов спектральных графиков, выбор частотных полос и расчет статистических значений, синхронизация и усреднение спектров по времени, наложение исходных осциллограмм на спектральные графики;

- построение графиков межканальных зависимостей, в том числе в процессе регистрации данных;

- построение гистограмм распределения сигналов по амплитуде;

- библиотека статистических и информационных функций анализа данных.

7. Хранение, экспорт и импорт данных:

- эффективный формат файлов, позволяющий хранить вместе с данными различные настройки, дополнительный текст и таблицы расчетных значений;

- сохранение и использование индивидуальных настроек для каждого типа измерений;

- импорт и экспорт текстовых файлов;

- импорт и экспорт звуковых файлов;

- импорт и экспорт двоичных файлов;

- экспорт данных в текстовом формате через буфер обмена.

Таким образом, в процессе выполнения проекта разработана, изготовлена и введена в действие стационарная система геотермии, способная функционировать в жестких условиях.

1. Система установлена в Лаборатории №2.

2. Оборудование системы допускает непрерывную регистрацию в стационарных условиях и длительную – до 30 суток – в автономном режиме работы.

3. Гибкое программное обеспечение позволяет модифицировать как отдельные параметры эксперимента, так и собственную программу контроллера системы в режиме удаленного доступа.

4. Мощная среда обработки и визуализации данных в режиме

реального времени обеспечивает комфортную работу исследователя и получение достоверных данных.

Авторы проекта располагают и серийными мобильными логгерами, предназначенными для исследования тепловых полей контактными методами непосредственно на вулканической постройке.

1.2 Мобильные информационно-измерительные системы наземного мониторинга геофизических процессов, связанные с изучением сейсмической и вулканической деятельности. Обоснование рационального комплекта, обеспечивающего оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе

Мобильные информационно-измерительные системы наземного мониторинга геофизических процессов, связанных с анализом сейсмической и вулканической деятельности, включают целую серию первичных датчиков сейсмического, электромагнитного, теплового и других полей, генерируемых на этапах подготовки сейсмических и вулканических катастроф.

Их показания всегда сопоставляются с данными стационарных систем, расположенных в районе Эльбруса.

Одной из самых актуальных проблем, которые возникли перед авторским коллективом, стала проблема обеспечения функционирования мобильных информационно-измерительных систем при использовании их в экстремальных условиях непосредственно на вулканической постройке.

С этой целью нами был разработан специализированный блок регистрации в цифровом виде геофизической информации, способный автономно функционировать в полевых условиях в течение длительного времени в двух режимах:

- в режиме накопления информации в энергонезависимой памяти;
- в режиме мониторинга, с передачей данных на удаленный пункт сбора в реальном масштабе времени.

Решение этой проблемы было получено после разработки и создания «Мобильной автономной системы сбора и регистрация геофизической информации», которая на первом этапе обеспечивала натурные эксперименты в регионе. Рассмотрим основные элементы разработанной системы.

1.2.1 Мобильная автономная система сбора и регистрация геофизической информации

Структура блока регистрации предоставляет пользователям возможность гибкого применения комплектующих деталей, обеспечивающих наилучшее соотношение по критерию «стоимость/эффективность». Для увеличения времени автономной работы комплекса принципиальные схемы основных блоков были созданы на базе мало потребляющих микросхем (микросхемы на основе КМОП-логики с возможностью управления энергопотреблением).

Для обеспечения универсальности при передаче информации из блока регистрации в персональный компьютер (ПЭВМ) предусмотрена возможность использования последовательного и параллельного интерфейсов, радиомодема.

Блок регистрации состоит из четырех идентичных друг другу систем сбора и регистрации (ССР), каждая из которых, в свою очередь, состоит из блока регистрации (БР) и блока питания (БП). Внешний вид системы сбора и регистрации показан на рисунке 39.

Каждая ССР может работать автономно друг от друга, но сбор геофизической информации всеми системами комплекса ведется с единой временной и пространственной привязкой, поскольку в состав каждой ССР входит система глобального определения места - GPS.

Режим мониторинга с передачей информации в персональный компьютер может осуществляться двумя способами:

- каждая ССР автономно передает «свои» данные в «свою» ПЭВМ;
- все четыре ССР передают «свои» данные одной «общей» ПЭВМ.

Это возможно при использовании радиомодема.

Комплекс снабжен развитым программным обеспечением, позволяющим выполнять сбор и обработку геофизической информации.

Программное обеспечение (ПО) блока регистрации выполняет следующие функции:

- сбор, преобразование и долговременное хранение информации;
- изменение режима опроса каналов (изменение частоты опроса, изменение количества опрашиваемых каналов);
- передачу информации в ПЭВМ (по последовательному и параллельному интерфейсам).

Блок регистрации предназначен для сбора, регистрации, преобразования и долговременного хранения информации, полученной от ГКГ и датчиков другой геофизической аппаратуры, а также передачи этой информации в ПЭВМ посредством последовательного или параллельного интерфейсов. Возможна организация передачи данных в ПЭВМ с помощью разработанного радиомодема. Блок регистрации имеет модульную структуру. Модульная конструкция БР позволяет гибко конфигурировать систему и комплекс в целом, учитывая конкретные условия эксплуатации.

В частности, можно исключать из БР модули определенного типа и/или увеличивать (наращивать) количество модулей другого типа (например, АЦП, энергонезависимой памяти). Питание блоков регистрации осуществляется либо от внешней электрической сети (~220В), либо от аккумулятора, смонтированного в виде отдельного модуля - Блока питания.

Блоки питания предназначены для обеспечения питанием блоков регистрации, а также подзарядки аккумуляторной батареи, входящей непосредственно в состав блока питания.

Блок регистрации предназначен для проведения научных исследований в полевых условиях и функционирует при следующих климатических параметрах:

- рабочая температура – от минус 20^оС до +50^оС, влажность воздуха - не более 80% при температуре окружающей среды +20^оС;

– атмосферное давление (при эксплуатации на высоте над уровнем моря не более 5000м): верхнее рабочее - 800 мм рт.ст., нижнее рабочее - 650 мм рт. ст., нижнее предельное рабочее - 630 мм рт.ст.



Рисунок 39 - Устройство и функционирование блока регистрации.

Работа блока регистрации осуществляется следующим образом.

Блок регистрации Комплекса устанавливается на месте эксплуатации. К блоку регистрации каждой ССР подсоединяются датчики, используемые в реальной конфигурации.

Предварительно в блок регистрации должна быть загружена базовая конфигурация. Выбирается источник питания блока регистрации.

В соответствии со схемой функционирования Информационно-измерительного геофизического комплекса производится подключение составных воспринимающих элементов и другой измерительной аппаратуры. Все неиспользуемые входы закрываются заглушками.

После этого каждая ССР готова к работе.

Технические характеристики блока регистрации.

Приведем основные технические характеристики блока регистрации.

Поскольку блок регистрации состоит из одинаковых систем сбора и может формироваться из нескольких одинаковых блоков, в таблице 3 указаны характеристики одного из блоков, образующих на практике ССР.

Таблица 3 – Технические характеристики одного из блоков, образующих на практике ССР.

Наименование параметра	Значение
Количество каналов ввода аналоговой информации, в т.ч. с разрядностью 10; с разрядностью 24	12 8 4
Количество каналов ввода цифровой информации	4
Частота опроса каждого канала ввода аналоговой информации, Гц	200
Диапазоны входных аналоговых сигналов, В	± 5 ± 10
Тип входа аналоговых сигналов	дифференциальный
Входное сопротивление аналоговых каналов, не менее КОм	30
Интерфейсы связи последовательный порт RS-232; параллельный порт	2 шт. 1 шт.
Общий объем энергонезависимой памяти, не менее, Мбайт	512
Наличие встроенной системы местопределения (GPS)	+
Точность временной привязки событий, не хуже, с	10-2
Питание блока регистрации от блока питания; блока регистрации от внешнего источника питания	$12В \pm 2$ $12В \pm 2$
Наличие в составе блока питания аккумуляторной батареи, 12Ah; AC/DC преобразователя	 + +
Рабочий диапазон температур	минус 20О...+50О
Габаритные размеры блока регистрации блок регистрации, мм; блок питания, мм;	290x190x180 290x190x180
Степень защиты корпуса по МЭК 529	IP54

Блок регистрации (БР). Устройство и принцип работы БР.

БР комплекса обеспечивает ввод, преобразование в цифровой вид и регистрацию в энергонезависимой памяти сигналов от аналоговых датчиков, а также ввод и регистрацию информации от датчиков с цифровым выходом. На рисунках 40а и 40б представлены внешний вид и структура БР соответственно.

В состав БР входят следующие основные модули:

вычислительный модуль (ВМ);

2 модуля 24-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП 24);

- модуль энергонезависимого запоминающего устройства (ЭнЗУ);
- модуль ввода цифровой информации (МВЦ);
- модуль сопряжения с датчиками (МСД);
- модуль приемника сигналов GPS (GPS);
- модуль питания и индикации (МПИ).

Принцип работы блока регистрации системы сбора и регистрации заключается в следующем.

Центральным модулем ССР является вычислительный модуль, который организует работу всей системы в целом.

В его состав входит микроконтроллер TN80C196KC20 фирмы Intel, который по определенной программе управляет сбором, преобразованием и хранением информации.

Для обеспечения различных вариантов подключения БР к ПЭВМ вычислительный модуль имеет два стандартных интерфейса: двунаправленный параллельный (LPT-порт) и последовательный (COM1-порт).

В блоке регистрации предусмотрен ещё один последовательный порт (COM2), с помощью которого пользователь может подключать к БР радиомодем (при наличии), имеющий интерфейс RS-232.

Кроме этих портов, вычислительный модуль БР имеет упрощенный последовательный интерфейс RS-232, к которому подключается модуль

приемника сигналов GPS. Использование упрощенного последовательного интерфейса позволяет снизить мощность потребления БР.

Это достигается за счет изменения уровней сигналов интерфейса и количества сигналов в сторону уменьшения. В качестве основного межмодульного интерфейса блока регистрации выбрана стандартная шина ISA-8.

Вся аналоговая информация от сейсмодатчиков и любых других воспринимающих элементов поступает на модули 24-разрядного АЦП (МАЦП24) и модуль сопряжения с датчиками (МСД).

Причем, информация от четырех сейсмодатчиков поступает непосредственно на входы двух модулей 24-разрядного АЦП (МАЦП24), на плате каждого из которых расположен 2 канальный 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь, преобразующий полученную от этих датчиков аналоговую информацию в цифровую по двум каналам. Выбор диапазона выходных сигналов датчиков ($\pm 5\text{В}$ или $\pm 10\text{В}$) производится с помощью переключки, расположенной на каждом из этих модулей.

Преобразование же аналоговой информации в цифровой вид по 8-ми каналам от сейсмодатчиков «DA5...DA12» (см. п.2.1.2 настоящего РЭ) выполняет вычислительный модуль, который имеет в своем составе аналого-цифровой преобразователь (8-ми канальный 10-разрядный), встроенный в микроконтроллер.

Сопряжение этих датчиков с вычислительным модулем выполняет модуль сопряжения с датчиками (МСД). Выбор диапазона выходных сигналов датчиков «DA5...DA12» ($\pm 5\text{В}$ или $\pm 10\text{В}$) производится также с помощью переключки, расположенной на плате МСД.

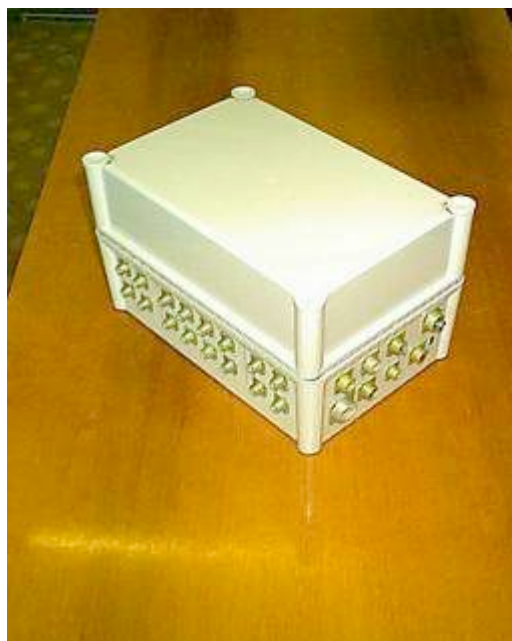


Рисунок 40а – Блок регистарции.

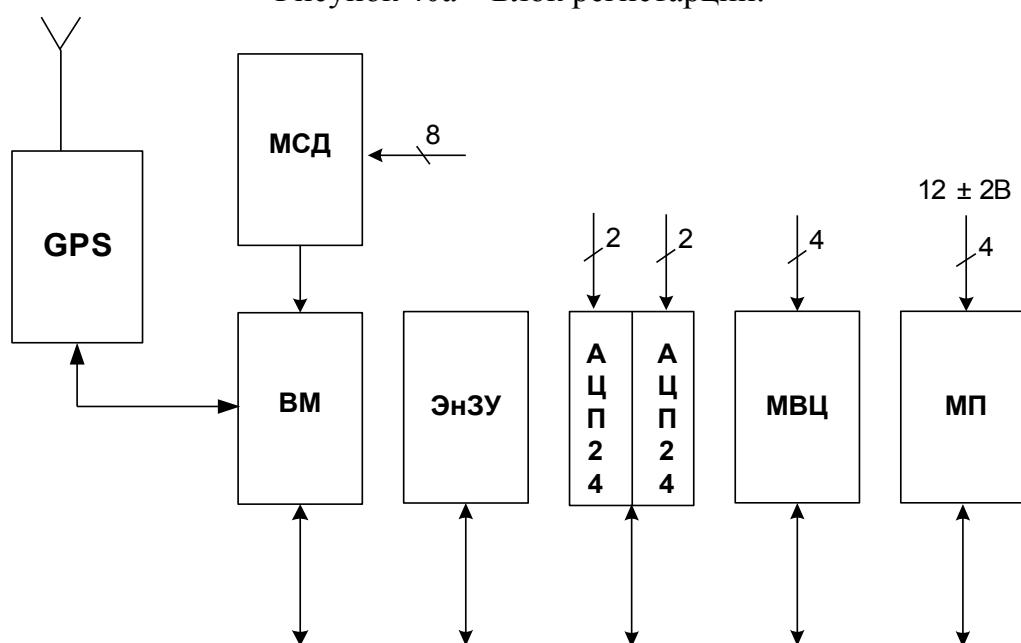


Рисунок 40б – Вычислительный модуль блока регистарции.

Цифровая информация от сейсмических датчиков с цифровым выходом поступает на модуль ввода цифровой информации, предназначенный для сопряжения системы сбора и регистрации и сейсмических датчиков, имеющих стандартный интерфейс RS-232.

Модуль энергонезависимого ЗУ предназначен для длительного хранения информации. Этот модуль является сменным, что позволяет пользователям системы и комплекса в целом осуществлять оперативную замену данного модуля. Энергонезависимая память позволяет сохранить

накопленную информацию в случае отказа или исчерпания источника питания. В качестве интерфейса между ВМ и модулем энергонезависимой памяти используется стандартная шина ISA, позволяющая обеспечить перенос данных из ССР в персональный компьютер путем перестановки модуля ЭнЗУ из системы в ПЭВМ.

Модуль приемника сигналов GPS служит для обеспечения привязки системы на местности и коррекции внутренних часов БР. В качестве модуля GPS используется промышленно выпускаемый приемник сигналов GPS фирмы Trimble. Модуль питания и индикации (МПИ) преобразует входное напряжение +12В в уровни +5В и $\pm 12В$, необходимые для питания всех модулей БР системы, а также обеспечивает контроль уровня входного напряжения, поступающего на вход БР от БП.

Задание режимов работы и конфигурации системы, отвечающей реальным условиям эксплуатации, производится программным путем. Частота опроса датчиков, количество опрашиваемых каналов задаются также программным путем. Рассмотрим структуры отдельных модулей.

Вычислительный модуль.

Структура вычислительного модуля БР изображена на рисунке 3 и включает в свой состав:

- однокристальную микро ЭВМ (МЭВМ);
- 3 канальный универсальный асинхронный приемо-передатчик (УАПП);
- блок управления и интерфейса (БУИ);
- оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);
- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ);
- приемо-передатчики последовательного и параллельного портов (ПП).

МЭВМ является интеллектуальным ядром вычислительного модуля (ВМ). Основными компонентами однокристальной микро ЭВМ являются: центральный процессор, сервер периферийного обмена, универсальный

асинхронный приемо-передатчик, программируемый контроллер прерываний, встроенный генератор синхросерий, контроллер памяти, устройство высокоскоростного ввода, устройство высокоскоростного вывода, два 16-разрядных программируемых таймера и 5 универсальных 8-разрядных многофункциональных портов ввода-вывода.

Порт P0 подключен к входам 8-канального аналогового мультиплексора АЦП, на который подаются аналоговые сигналы для преобразования в цифровую форму и последующей обработки.

Порт P1 в структуре вычислительного модуля не используется.

Порт P2 служит для приема сигналов прерывания от БУИ и УАПП.

Порты P3 и P4 выполняют функции шины, по которой в мультиплексном режиме передаются адреса и данные оперативной памяти и внешних, по отношению к МЭВМ, устройств.

К шине адрес/данные (ШАД) подключены УАПП, БУИ, оперативная память, ПЗУ.

Блок управления и интерфейсов служит для сопряжения МЭВМ с оперативной и постоянной памятью ВМ, с модулем энергонезависимой памяти, формируя адресные и управляющие сигналы на основе информации, поступающей от МЭВМ. Кроме того, БУИ обеспечивает возможность двунаправленного обмена по параллельному интерфейсу (ПИ) между ВМ и внешними устройствами, например, такими, как персональная ЭВМ, принтер и т.п.

Оперативное запоминающее устройство выполняет функцию оперативного хранения информации. Емкость ОЗУ составляет 32 Кбайта.

Постоянное запоминающее устройство служит для хранения программ работы вычислительного модуля и некоторых констант. Емкость ПЗУ – 32 Кбайт. Универсальный асинхронный приемо-передатчик выполняет преобразование из последовательного кода в параллельный, при приеме информации от периферийных устройств к микроЭВМ, и преобразование из параллельного кода в последовательный, при передаче информации из

микроЭВМ к модулю приемника сигналов GPS. Кроме того, к УАПП подключен COM1-порт БР.

Приемо-передатчики последовательного и параллельного интерфейсов (COM-1 и LPT-порты) предназначены для обеспечения требуемых по стандарту уровней напряжения при приеме и передаче информации по COM- и LPT-портам.

Для реализации вычислительного модуля используются следующие микросхемы:

- однокристалльная МЭВМ - микроконтроллер 80C196KC фирмы Intel;
- оперативная память - микросхемы ОЗУ UM61256AK-12 фирмы United Microelectronics Corporation;
- постоянная память - микросхема флэш-ЗУ AT29C256 - фирмы Atmel;
- приемо-передатчики интерфейса RS-232 - микросхема ADM241LJ фирмы Analog Devices.

Блок управления и интерфейса реализуется на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) фирмы Xilinx XCS20.

Модуль 24-разрядного АЦП.

Динамический диапазон хороших сейсмических датчиков может достигать 140дБ, в связи, с чем к аппаратуре регистрации сейсмических сигналов предъявляются весьма высокие требования по этому параметру. Применение в измерительном тракте малоразрядных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) в сочетании с большим числом поддиапазонов измерения ухудшает разрешающую способность и вносит дополнительные искажения при анализе сигналов. Поэтому является целесообразной разработка модуля 24-разрядного АЦП.

Реальный динамический диапазон измерительного тракта определяется его активными элементами: операционными усилителями (ОУ) и АЦП.

Необходимо учитывать, что диапазон существующих 24-разрядных АЦП зависит от частотного диапазона входных сигналов, на который программируется микросхема, и может находиться в пределах от 70 до 140дБ (от 12 до 24 эффективных разрядов). Все 24-разрядные АЦП используют метод дельта-сигма модуляции, и их эффективная разрядность зависит от степени подавления внутренним цифровым фильтром высокочастотного шума квантования, возникающего в результате дискретизации входного сигнала. Возрастание шума дельта-сигма модулятора с повышением частоты дискретизации, а также большие задержки при переключении каналов в многоканальных схемах вынуждают отказаться от использования аналогового мультиплексора и использовать для каждого канала свой 24-разрядный АЦП.

На рисунке 41 изображена структурная схема модуля двухканального 24-разрядного АЦП. В состав модуля входят следующие основные узлы:

- измерительные усилители (ИУ);
- фильтры низкой частоты (ФНЧ);
- фазоинверторы (ФИ);
- 24-разрядные АЦП (АЦП);
- источник опорного напряжения (ИОН);
- генератор тактовых импульсов (ГТИ);
- блок интерфейса шины ISA (БИ).

Использование в качестве входного предусилителя высококачественного измерительного усилителя позволяет получить высокие значения коэффициента ослабления синфазного сигнала и отношения сигнал/шум на входе предусилителя. В качестве ИУ используется инструментальный усилитель PGA204 фирмы Burr-Brown, который имеет переключаемый коэффициент передачи 1, 10, 100.

Фильтр низкой частоты является фильтром Баттерворта 6 порядка с коэффициентом усиления 2. Такой коэффициент позволяет согласовать диапазон входных сигналов БР с входным диапазоном микросхемы АЦП. Фазоинвертор позволяет сформировать дифференциальный вход

для АЦП. Фильтр низкой частоты и фазоинвертор реализованы с использованием одной микросхемы счетверенных прецизионных операционных усилителей OPA4277 фирмы Burr-Brown.

В качестве 24-разрядного АЦП используется микросхема ADS1210 фирмы Burr-Brown. Выбор данной микросхемы обусловлен тем, что при одинаковых условиях использования микросхема ADS1210 обеспечивает больший диапазон, большее число эффективных разрядов и меньшие шумы по сравнению с микросхемами семейства AD77xx фирмы Analog Devices. Для обеспечения большого числа эффективных разрядов в руководстве по применению АЦП ADS1210 рекомендуется использовать внешний прецизионный источник опорного напряжения. Для этих целей в модуле используется микросхема AD780 фирмы Analog Devices – высокостабильный источник опорного напряжения 2,5В. С помощью этой микросхемы задается единое опорное напряжение на все микросхемы АЦП рассматриваемого модуля. Генератор тактовых импульсов предназначен для синхронизации четырех АЦП и тактирования внутренних схем блока интерфейса. ГТИ реализован на микросхеме 1554ЛН1 и кварцевом резонаторе с частотой 16МГц. Синхросерия OSC с частотой 16МГц поступает в блок интерфейса, где делится на 2 и тактирует внутренние схемы БИ. Частота 8МГц (сигнал CLK) выходит из БИ и подается на входы синхронизации микросхемы АЦП.

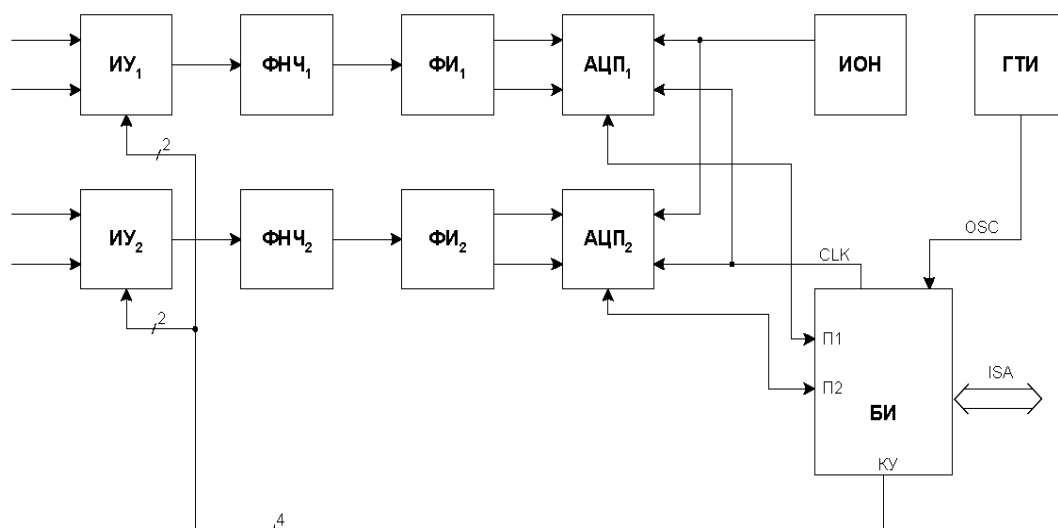


Рисунок 41 - Структура модуля двухканального 24-разрядного АЦП.

Блок интерфейса шины ISA осуществляет передачу информации между аналого-цифровыми преобразователями и вычислительным модулем БР. Обмен информацией между АЦП и БИ осуществляется последовательными кодами по 2-х проводному интерфейсу с использованием режима MASTER микросхемами АЦП и управлением сигналами CS. Блок интерфейса осуществляет одновременный синхронный обмен со всеми АЦП модуля, используя четыре последовательных порта П1-П4. Кроме того, в БИ реализован 8-разрядный регистр выбора коэффициента усиления измерительных усилителей. Этот регистр позволяет программным путем устанавливать коэффициенты усиления 1, 10, 100 индивидуально для каждого канала модуля 24-разрядного АЦП (выход КУ блока интерфейса). Блок интерфейса шины ISA реализован на программируемой логической интегральной схеме XCS20 фирмы Xilinx.

Модуль энергонезависимого запоминающего устройства.

На рисунке 42 представлена структура модуля энергонезависимого запоминающего устройства, которая включает в свой состав следующие основные элементы:

блок интерфейса шины ISA (БИ);

микросхемы флэш-памяти (ФП).

Блок интерфейса шины ISA предназначен для преобразования адресов и управляющих сигналов шины ISA в адреса и управляющие сигналы микросхем флэш-памяти. Блок интерфейса шины реализован на ПЛИС фирмы Xilinx.

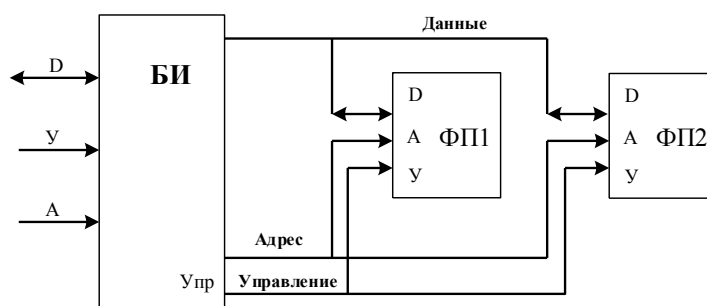


Рисунок 42 - Структура модуля энергонезависимого запоминающего устройства

Микросхемы флэш-памяти обеспечивают энергонезависимое хранение информации. Использование флэш-памяти позволяет сохранять информацию при исчерпании или отказе источника питания.

В качестве элементов флэш-памяти используются микросхемы типа K9K2G08uom-YIB фирмы Samsung. Эти микросхемы имеют организацию 256Mx8. Таким образом, емкость энергонезависимой памяти БР составляет 512Мбайт. Принципиальная схема модуля приведена в Приложении В.

Модуль ввода цифровой информации.

Модуль ввода цифровой информации (МВЦ) предназначен для сопряжения блока регистрации и датчиков, имеющих стандартный интерфейс RS-232.

Структурная схема МВЦ представлена на рисунке 43 и включает в свой состав следующие основные узлы:

- дешифратор адреса (ДША);
- четырехканальный универсальный асинхронный приемо-передатчик (УАПП);
- приемо-передатчики интерфейса RS-232 (ПП);
- генератор тактовых сигналов (ГТИ).

ДША предназначен для выборки одного из четырех каналов УАПП при условии совпадения значения адреса устройства на шине ISA с разрешенным для этого устройства диапазоном адресов.

УАПП имеет четыре идентичных канала, которые обеспечивают преобразование информации, поступающей от датчиков в последовательном коде, в параллельный код.

Обмен информацией между МВЦ и вычислительным модулем БР осуществляется по шине ISA параллельными кодами.

На УАПП поступают сигналы управления I/OR, I/OW, RES вычислительного модуля. В вычислительный модуль УАПП выдает сигналы прерывания INT1-INT4 (от каждого канала – свой сигнал прерывания).

Для преобразования сигналов с уровнями интерфейса RS-232 в сигналы логических уровней служат приемо-передатчики интерфейса RS-232.

Генератор тактовых сигналов формирует синхросерию CLK частотой 8МГц, используемую для синхронизации внутренних элементов УАПП.

Дешифратор адреса построен на микросхемах 1554ЛА3 и 1554ИД14.

В качестве УАПП применяется микросхема TL16C754 фирмы Texas Instruments. Выбор данной микросхемы обусловлен тем, что эта микросхема поддерживает работу на входных частотах до 50МГц, имеет 64-битный буфер FIFO, как на приемнике, так и на передатчике, программное управление автоматическим квитированием, поддержку прямого доступа к памяти, программный выбор скорости передачи, режим энергосбережения, программируемые характеристики последовательного канала, функции управления модемом.

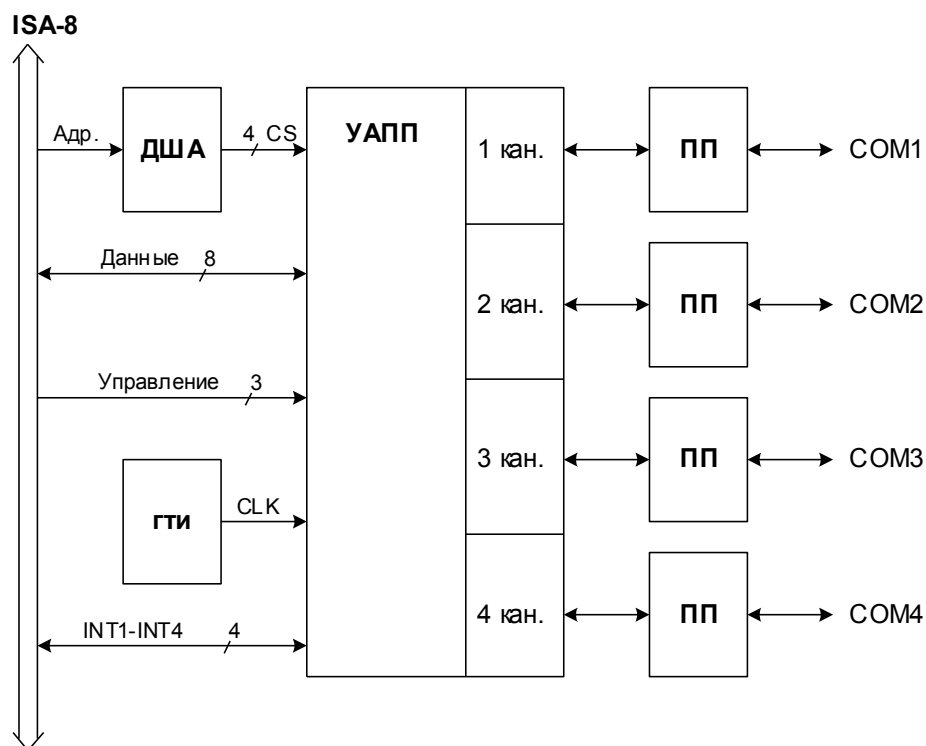


Рисунок 43 - Структурная схема модуля ввода цифровой информации.

В качестве приемо-передатчиков интерфейса RS-232 использованы микросхемы ADM211 фирмы Analog Devices. Эти микросхемы используют единственное питающее напряжение (+5В), обеспечивают уровни интерфейса

RS-232 ($\pm 10\text{В}$), скорость передачи информации до 120 Кбит/с, имеют защиту от перенапряжения ($\pm 15\text{кВ}$) и малое энергопотребление.

Генератор тактовых сигналов реализован на микросхемах 1554ЛН1 и 1554ТМ2 и кварцевом резонаторе с частотой 16МГц.

Модуль сопряжения с элементами и автономными устройствами (датчиками) геофизической информации.

Структура модуля сопряжения с датчиками представлена на рисунке 44. В состав МСД входят следующие основные блоки:

- блок масштабирующих усилителей (БМУ);
- блок интерфейса шины ISA (БИ);
- блок ключей питания датчиков (БКП).

Операционные усилители, входящие в блок масштабирующих усилителей, обеспечивают согласование входных аналоговых сигналов с входами аналого-цифрового 8-канального 10-разрядного преобразователя, расположенного на плате вычислительного модуля. При установке соответствующих перемычек на плате МСД каждый из 8-ми входных аналоговых каналов может индивидуально подстраиваться к аналоговым сигналам требуемого диапазона ($\pm 5\text{В}$; $\pm 10\text{В}$). В качестве микросхем операционных усилителей используются интегральные схемы LM324N. Блок ключей питания датчиков позволяет подключать питание только к тем датчикам, информация с которых должна считываться в конкретный момент работы БР.

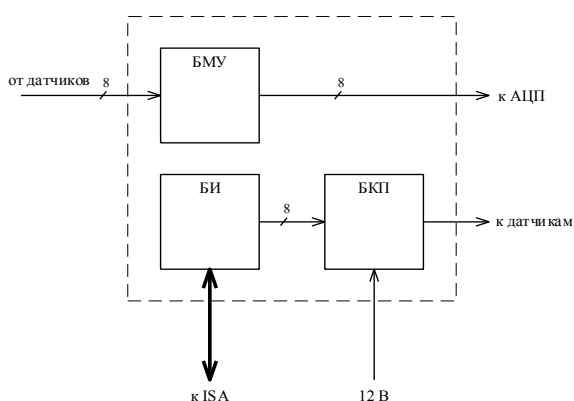


Рисунок 44 - Структура модуля сопряжения с датчиками.

Таким образом, индивидуальный выбор датчиков позволяет экономить энергию аккумуляторных батарей блока питания. Ключи питания датчиков реализованы на микросхеме твердотельного реле 5П14.2А. В блок ключей входит восемь ключей.

Блок интерфейса шины ISA декодирует адреса конкретных датчиков и управляет ключами питания, обеспечивая подключение к напряжению 12В выбранных датчиков.

Блок интерфейса шины ISA реализован с использованием ПЛИС XCS20 фирмы Xilinx.

Диапазоны используемых в конкретной конфигурации системы аналоговых датчиков задаются переключками на плате данного модуля.

Переключками задается также выбор подачи питания на эти датчики, т.е. питание на датчики может подаваться программно или постоянно.

Модуль приемника сигналов GPS.

Для обеспечения высокой точности временной и пространственной привязки данных, накапливаемых в энергонезависимой памяти, в состав БР включен модуль приемника сигналов GPS.

В настоящее время приемники сигналов GPS выпускаются рядом фирм, таких как Trimble, Garmin, Dassault Sercol NP, STMICROELECTRONICS и др. Причем, в продаже имеются как законченные системы, так и отдельные модули и даже наборы микросхем.

После анализа характеристик приемников сигналов GPS различных фирм был выбран модуль приемника сигналов GPS Lassen LP GPS фирмы Trimble.

Этот модуль имеет малые габариты (66x32x12мм), минимальное потребление по сравнению с другими приемниками (182мВт в активном режиме) и обладает широкими возможностями по управлению режимами энергопотребления (что позволяет снизить потребляемую мощность до 24мВт и менее). Кроме того, этот модуль обеспечивает возможность использования трех протоколов обмена данными между модулями GPS и вычислительным модулем

БР: TSIP, TAIP и NMEA. Протокол TSIP позволяет максимально использовать все возможности по управлению энергопотреблением модуля GPS.

Рассмотрим более подробно эти возможности. В Lassen LP GPS имеется три режима работы:

- режим уменьшения потребления контроллера модуля GPS;
- циклический режим;
- режим работы по расписанию.

Первый режим обеспечивает отключение микропроцессора приемника GPS, причем, уменьшение потребления незначительно, но при этом практически не увеличивается время определения координат.

В циклическом режиме на программируемые периоды отключаются цифровой сигнальный процессор, схема радиоприемника и антенна, тем самым еще больше снижая потребляемую мощность в применениях, где не требуется постоянное вычисление местоположения.

В режиме работы по расписанию на программируемые периоды "сна" отключаются микропроцессор, генератор синхросигналов, цифровой сигнальный процессор, схема радиоприемника и антенна.

Именно этот режим обеспечивает минимальный уровень потребления мощности для применения в тех случаях, когда местоположение приемника GPS определяется редко. Этот режим является оптимальным при работе БР в составе полевого комплекса.

Интерфейсом модуля GPS является упрощенный интерфейс RS-232 с уменьшенным размахом сигналов (уровни ТТЛ-логики) и уменьшенным количеством сигналов.

Модуль питания.

Структура модуля питания приведена на рисунке 45 и включает в свой состав следующие основные узлы:

- преобразователь постоянного напряжения из 12В в 5В (ППН5);
- преобразователь постоянного напряжения из 12В в $\pm 12В$ (ППН12);

- стабилизатор напряжения питания (СТБ);
- схема индикации заряда аккумуляторных батарей (СИ).

ППН5 предназначен для формирования напряжения $+5\text{В}$, которое обеспечивает электроснабжение цифровой части БР.

ППН12 служит для формирования напряжений питания $\pm 12\text{В}$, которые запитывают операционные и измерительные усилители.

В качестве ППН5 используется преобразователь DW03-11В фирмы Fran Mar. Этот преобразователь обеспечивает максимальный ток нагрузки 600мА и обладает коэффициентом полезного действия свыше 70% . Использование этого преобразователя позволяет иметь запас по току в случае наличия более энергоемких модулей при изменении конфигурации БР. В качестве ППН12 также используется преобразователь фирмы Fran Mar - DW03-15В. Этот преобразователь обеспечивает максимальный ток нагрузки $\pm 125\text{мА}$ и обладает коэффициентом полезного действия – 78% .

Стабилизатор напряжения питания 5В обеспечивает питающее напряжение для электроснабжения источника опорного напряжения и аналого-цифровых преобразователей модулей АЦП.

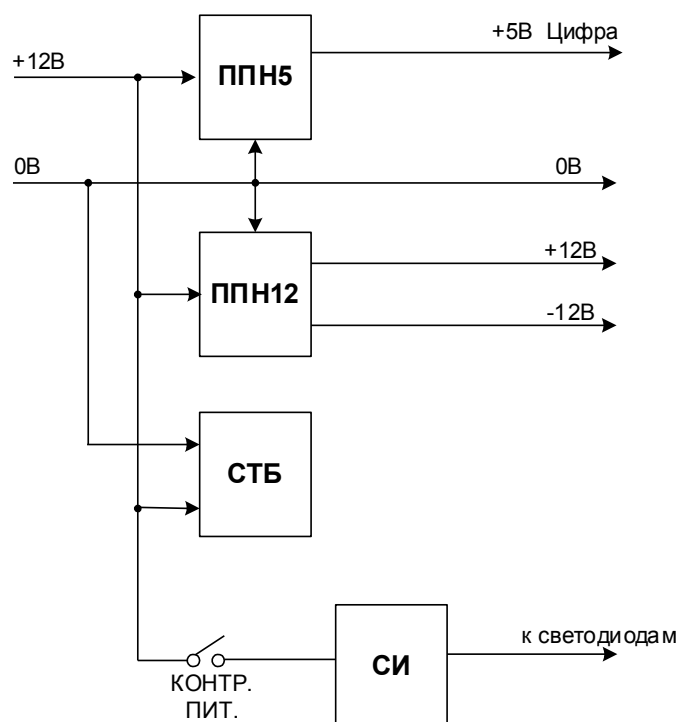


Рисунок 45 – Структура модуля питания.

В схеме используется стабилизатор ADM666, который обеспечивает максимальный ток нагрузки 50мА.

Схема индикации заряда аккумуляторных батарей (или напряжения внешнего источника питания) позволяет контролировать уровень напряжения источника питания БР.

В качестве СИ используется микросхема LB1403N фирмы Sanyo, обеспечивающая индикацию напряжения источника питания с помощью четырех светодиодов.

Для уменьшения мощности потребления БР эта схема «запитывается» кратковременно, только при нажатии кнопки «КОНТР.ПИТ.», расположенной на передней панели блока регистрации.

Конструкция БР.

Блок регистрации системы сбора конструктивно реализован в корпусе фирмы FIBOX ABS281918G с габаритными размерами 280x190x180мм. Для объединения модулей БР в единую систему используется 8-позиционный каркас фирмы Fastwel ICC19101.

В каркасе обеспечена фиксация модулей с трех сторон. Расстояние между установочными позициями составляет 22,86мм. Каркас размещается внутри конструктива БР.

Внешний вид каркаса с установленными в него модулями, а также корпуса БР показаны на рисунке 46.

Все модули регистратора, за исключением модуля GPS (покупное изделие), реализованы в конструктиве печатной платы формата MicroPC с размерами 104x124мм.

Модуль GPS крепится к вычислительному модулю мезонинным способом, рисунок 47.

Внешние и внутренние соединения модулей выполнены с использованием разъемов типа ВН (IDC) гибким плоским соединительным

шлейфом.

Внешние соединения БР (с датчиками, ПЭВМ, блоком питания) реализованы с использованием разъемов типа РСГ, расположенных на боковых стенках конструктива блока регистрации.

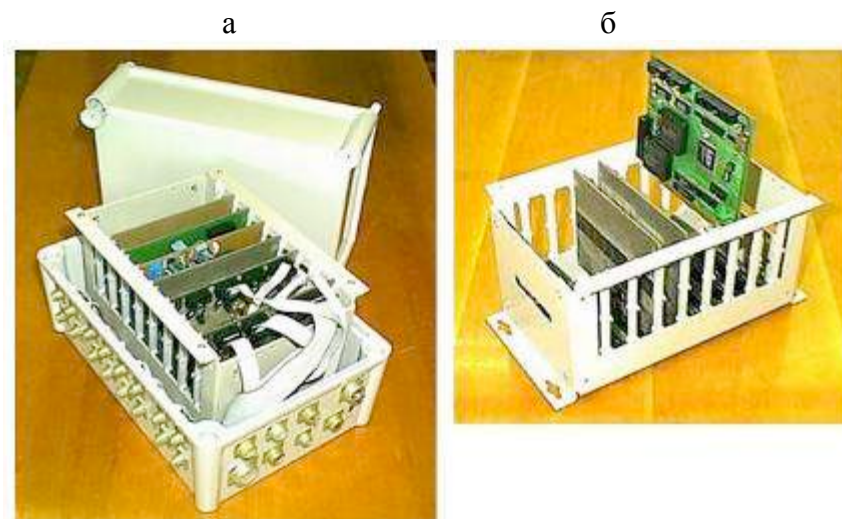


Рисунок 46 - а) каркас с модулями БР, б) корпус БР.



Рисунок 47 – Вычислительный модуль.

Органы управления: включение/отключение БР, индикация уровня питающего напряжения, расположены также на боковой стенке конструктива БР.

Степень защиты корпуса БР по МЭК 529 (ГОСТ 14254) – IP54.

Блок питания ССР.

Блок питания полевого комплекса включает в свой состав аккумуляторную батарею SV12-12 фирмы SVEN емкостью 12Ач и AC-DC

преобразователь типа AD55A фирмы Mean Well.

Аккумуляторная батарея предназначена для питания блока регистрации комплекса в полевых условиях. AC-DC преобразователь обеспечивает питание блока регистрации в случае наличия (в непосредственной близости от комплекса) электрической сети напряжением 220В.

Этот преобразователь выполняет преобразование напряжения 220В в 12В. AC-DC преобразователь предназначен также для подзарядки аккумуляторной батареи.



Рисунок 48 - Блок питания ССР.

Блок питания конструктивно реализован в таком же корпусе фирмы FIBOX, как и БР. Аккумуляторная батарея фирмы SVEN SV12-12 на 12В и 12Ah. Размеры аккумулятора – 98х151х99мм (с учетом клемм подсоединения). Крепится аккумулятор на металлическую пластину с помощью двух фиксирующих скобок.

Пластина, в свою очередь, прикреплена к нижней стенке корпуса. AC/DC преобразователь фирмы MEAN WELL.

Размеры преобразователя – 38х160х98мм.

Крепится преобразователь на ту же металлическую пластину, что и аккумуляторная батарея. Фиксируется с помощью тех же фиксирующих скобок.

С помощью AD-55A производится также подзарядка аккумуляторной батареи. Для этого предусмотрен тумблер «ЗАРЯД.АКК», находящийся внутри корпуса блока питания. Внешний вид БП представлен на рисунке 48.

Программное обеспечение геофизического комплекса.

Реализация программного обеспечения БР зависит от предъявляемых требований, в частности, от порядка работы с комплексом.

Алгоритм работы БР следующий:

- в блок регистрации записывается конфигурация для предстоящего сеанса работы, содержащая данные о количестве опрашиваемых каналов, периодичности опроса, периодичности записи результатов опроса в энергонезависимую память, алгоритмах обработки данных, кроме этого в конфигурацию входят данные о названии БР, названии конфигурации, названиях каналов;
- БР включается в режим записи данных, в котором через указанные в конфигурации временные интервалы производится опрос каналов данных, обработка полученной информации по заданным алгоритмам и запись результатов в энергонезависимую память;
- в процессе опроса пользователь имеет возможность контролировать работу БР по последовательному каналу RS-232 и с использованием радиомодема;
- в процессе опроса пользователь имеет возможность получать текущие данные с использованием перечисленных каналов связи;
- по окончании сбора данных производятся их считывание и последующая обработка.

С целью обеспечения выполнения действий, предусмотренных алгоритмом работы с БР программное обеспечение комплекса (ПО) позволяет осуществлять следующие процедуры:

- задание конфигурации БР, отвечающей конкретным условиям эксплуатации;
- сбор информации от датчиков, преобразование и долговременное ее хранение;

- передачу информации в ПЭВМ (по последовательному и параллельному интерфейсам).

ПО состоит из следующих компонентов:

- ПО БР, непосредственно осуществляющее получение данных и их запись в энергонезависимую память;
- ПО для задания конфигурации БР, контроля работы и считывания результатов;
- ПО для визуализации и документирования накопленных данных, обеспечивающее просмотр накопленных данных в графическом виде, преобразование их временных, количественных и качественных характеристик, а также для вывода графического изображения данных на печать.

На рисунке 49 представлена схема получения и обработки данных.

ПО БР предназначено для:

- организации опроса каналов получения данных через заданные временные интервалы;
- обработки полученных данных по выбранным пользователем алгоритмам;
- записи результатов в энергонезависимую память;
- реализации связи с ПЭВМ с использованием последовательного интерфейса RS-232;
- организации получения данных о местоположении БР и точном времени с использованием приемника GPS.

Для реализации указанных функциональных возможностей работа БР организуется в виде обработки запросов от внешних устройств. Запросы поступают в произвольные моменты времени и требуют определенной реакции со стороны процессора БР.

К источникам запросов относятся:

- таймер;
- приемо-передатчик последовательного интерфейса;
- радиомодем;
- приемник GPS.

Так как запросы приходят в произвольные моменты времени, их обработку целесообразно организовать как обработку запросов прерываний. Такой подход наряду с оперативностью реакции позволяет использовать энергосберегающие режимы работы компонентов схемы БР.

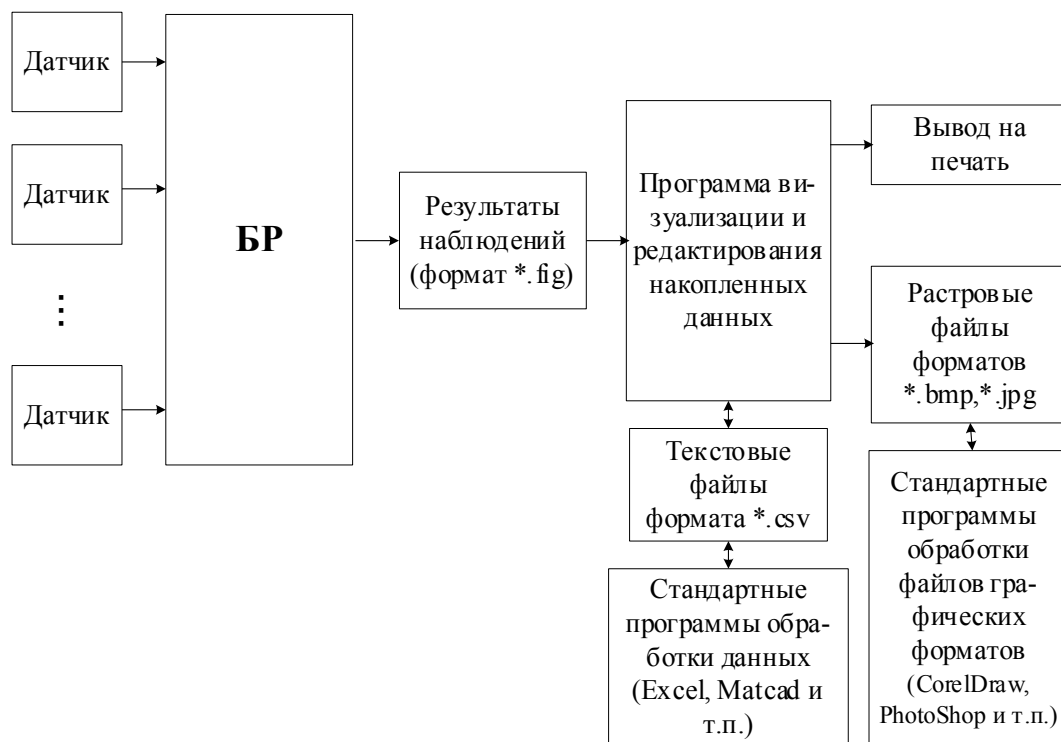


Рисунок 49 - Схема получения и обработки данных.

На рисунке 49 представлен обобщенный алгоритм работы БР. На этапе инициализации производится настройка компонентов БР, а также модулей программного обеспечения. Далее осуществляется переход в рабочий режим, представляющий собой последовательную обработку запросов по мере их поступления. В паузах компоненты схемы переключаются в энергосберегающий режим.

В ходе работы БР возможно поступление следующих запросов:

- истечение заданного временного интервала для таймера;
- прием байта от последовательного интерфейса;
- окончание передачи байта через последовательный интерфейс;
- прием байта от радиомодема;
- окончание передачи байта по радиомодему;

- прием байта от GPS;
- окончание передачи байта GPS.

Рассмотрим подробнее порядок обработки перечисленных запросов.

Обработка запроса от таймера. При поступлении запроса от таймера осуществляется проверка необходимости очередного запуска приемника GPS с целью получения точного времени для последующей коррекции временных характеристик накопленных данных (рисунок 50). Периодичность запусков выбирается, исходя из точности таймера. Далее выполняются действия по получению и обработке данных. Запись результатов может выполняться не при каждом запросе от таймера, это позволяет во многих случаях уменьшить объем записываемой информации и увеличить продолжительность сбора данных.

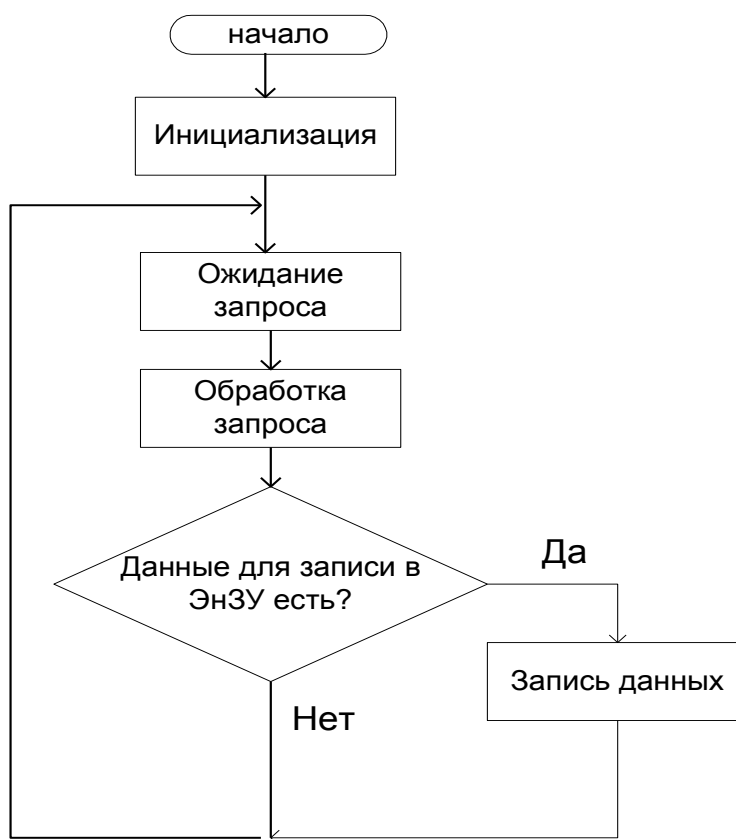


Рисунок 50 - Обобщенный алгоритм работы БР

В этом случае перед каждой записью данных в память будет выполнено несколько опросов датчиков.

Пользователю предоставляется возможность сформировать результат по

одному из следующих алгоритмов: выбрать максимальное значение, выбрать минимальное значение, сформировать среднее арифметическое значение.

Имеется возможность для одного датчика назначить произвольное число алгоритмов обработки (пару «датчик – алгоритм обработки» назовем виртуальным каналом).

Это позволяет отследить характер поведения параметра при минимальном количестве записанных данных.

Например, если назначить кратность записи результатов опроса 10 и для датчика назначить 3 виртуальных канала (минимум, максимум, среднее арифметическое), то можно более чем в 3 раза уменьшить объем записанной информации и отследить характер поведения параметра.

Обработка запроса по приему байта по последовательному каналу. Взаимодействие между ПЭВМ и БР по последовательному каналу осуществляется в виде «запрос – ответ», где источником запросов (команд) является ПЭВМ.

ПО накапливает принятые байты в специальном буфере, как только очередная команда будет принята полностью, ПО БР формирует ответное сообщение и передает его в ПЭВМ.

Алгоритм обработки данного запроса приведен на рисунке 51. После считывания принятого байта производится проверка, что предыдущее сообщение передано полностью, далее формируется ответное сообщение, если команда принята полностью.

По последовательному каналу пользователь может получить следующие данные: текущие значения, считанные с датчиков, информацию о координатах и последней временной привязке, полученной с приемника GPS, прочитать данные записанные в энергонезависимую память.

Обработка запроса по окончании передачи байта по последовательному каналу. Поступление данного запроса свидетельствует об окончании передачи текущего байта ответного сообщения. При этом проверяется, является ли последний байт последним в текущем сообщении, если да, то передается

очередной байт и передача прекращается.

Алгоритм приведен на рисунке 52. Обработка запроса по приему байта по радиомодему. В отличие от последовательного канала при передаче данных через радиомодем необходима дополнительная информация для идентификации участников обмена данными, т.е. каждому устройству (БР или ПЭВМ) присваивается уникальный номер - адрес. В остальном данная процедура соответствует процедуре обработки запроса по приему байта по последовательному интерфейсу. Алгоритм приведен на рисунке 53.

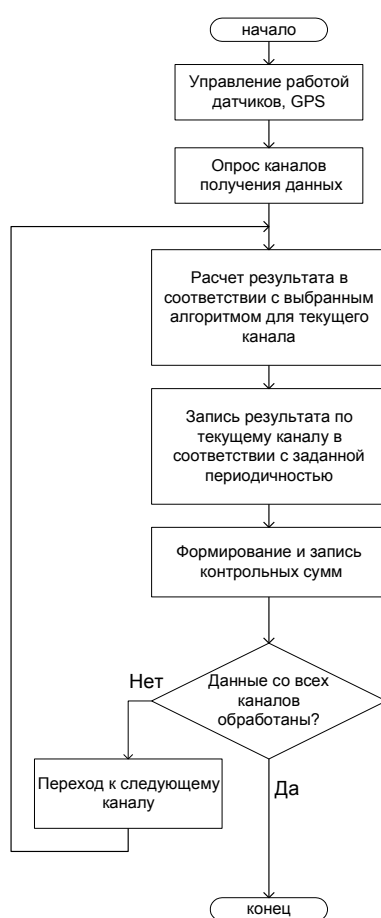


Рисунок 51 – Алгоритм обработки запроса.

Обработка запроса по окончании передачи байта по радиомодему. Назначение и порядок выполнения данного запроса полностью аналогичны случаю с обработкой такого же запроса для последовательного интерфейса.

Обработка запроса по приему байта от приемника GPS. Получение

информации от приемника GPS осуществляется через последовательный интерфейс RS-232, данные формируются в виде пакетов.

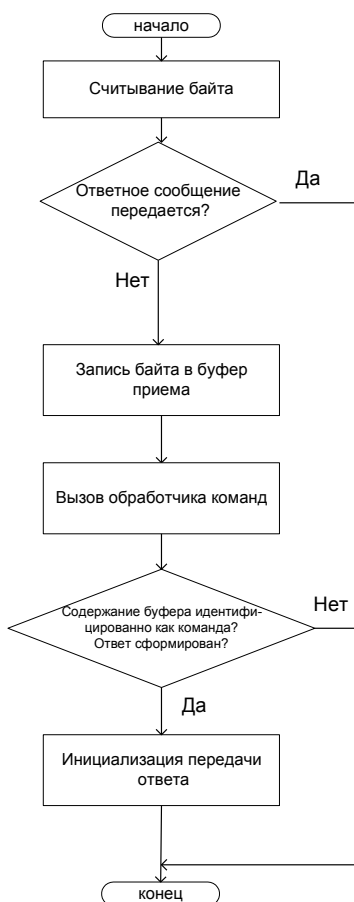


Рисунок 52 – Алгоритм обработки запроса.

Пакеты, поступающие от приемника GPS, имеют структуру в соответствии со стандартом TSIP, характер информации, содержащейся в пакете, определяется по идентификатору. Таким образом, в случае получения байта от приемника GPS необходимо определить:

- завершен или нет прием пакета;
- содержит или нет принятый пакет необходимую информацию.

Кроме того, в целях уменьшения потребления БР приемник GPS включается только на непродолжительное время – время гарантированного получения данных о положении и времени в нормальных условиях или до получения необходимой информации. Первое ограничение необходимо на тот случай, когда в силу каких-либо причин не представляется возможным собрать

необходимые данные, при этом сеанс работы считается неудачным, приемник GPS выключается до следующего сеанса. Во втором случае, когда все необходимые данные получены, нет смысла продолжать работу. Алгоритм обработки приведен на рисунке 53.



Рисунок 53 –Алгоритм обработки запроса.

Обработка запроса по окончании передачи байта приемнику GPS. Управление приемником GPS также осуществляется по последовательному интерфейсу RS-232 по формату TSIP.



Рисунок 54 – Алгоритм обработки запроса.

В данном случае не требуется сложного управления, т.к. вся необходимая информация содержится в пакетах, передаваемых приемником GPS автоматически, однако в начале работы необходимо передать команду сброса, чтобы иметь возможность включать и выключать его с помощью входа управления.



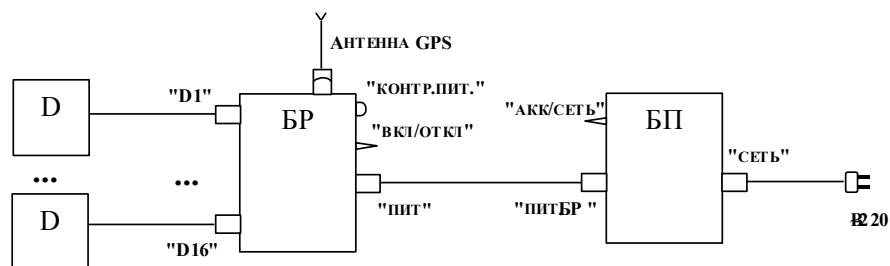
Рисунок 55 – Алгоритм обработки запроса.

Подготовка системы сбора и регистрации к работе.

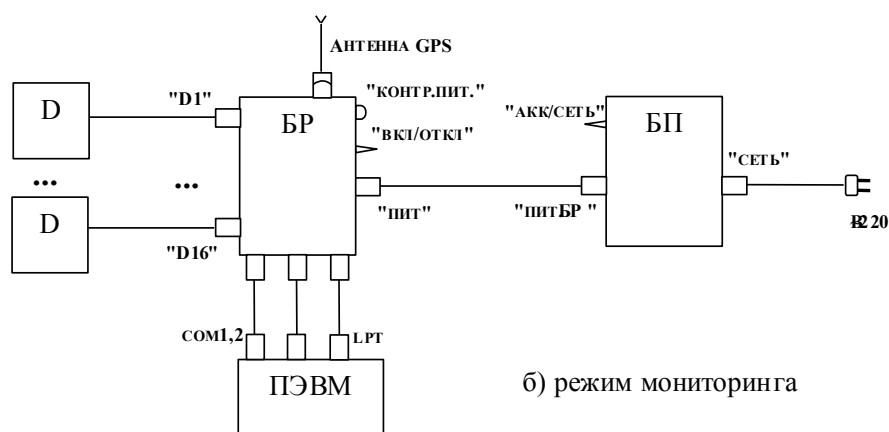
Система сбора и регистрации выполняет функции сбора, регистрации, мониторинга геофизической информации, поступающей от разнообразных датчиков, ввода накопленной информации в ПЭВМ, а также позволяет производить предварительную обработку полученной информации. Возможны два режима работы системы:

- накопления информации в энергонезависимой памяти;
- мониторинга, с передачей информации в ПЭВМ.

Конфигурации системы при различных режимах работы приведены на рисунке 56.



а) режим накопления информации



б) режим мониторинга

Рисунок 56 - Конфигурации системы при различных режимах работы

Приступая к работе, как с системой, так и с комплексом в целом, необходимо тщательно изучить эксплуатационную документацию на изделие – Руководство по эксплуатации.

Все используемые в реальных условиях эксплуатации датчики подсоединяются к разъемам, которые расположены на одной из боковых стенок корпуса БР и разделены на три группы (рисунок 57).

Первых две группы имеют маркировку "24 РАЗР." и "10 РАЗР.", для подключения сейсмодатчиков к АЦП разной разрядности.

К 24-разрядному АЦП подключаются датчики с маркировкой разъемов "DA1...DA4", к 10-разрядному АЦП - датчики с маркировкой разъемов "DA5...DA8".

В третью группу входят разъемы с маркировкой "DD1...DD4", для подключения датчиков с цифровым выходом. Подключение любых датчиков производится только при отключенном питании системы сбора и регистрации.

На одной из коротких боковых стенок корпуса БР (рисунок 58) расположены:

разъемы "COM1", "COM2", "LPT" для подключения двух последовательных и одного параллельного портов соответственно;

разъем для обеспечения межприборного заземления между ПЭВМ и системой;

тумблер "ВКЛ./ОТКЛ." - для включения/выключения питания БР;

кнопка "КОНТР. ПИТ." и окно индикации - для индикации уровня напряжения источника питания;



Рисунок 57 - Корпуса БР.

разъем "ПИТ." - для подачи питания на БР от блока питания;

разъем "GPS" - для подключения антенны модуля GPS.

Неиспользуемые разъемы на корпусе БР, а также тумблер и кнопка изолируются от воздействия внешней среды с помощью заглушек, входящих в комплект поставки.



Рисунок 58 - Короткие боковые стенки корпуса БР.

На боковой стенке корпуса БП (рисунок 59) расположены:
разъем "ПИТ. БР" для подачи питания от блока питания на БР;
разъем "СЕТЬ ~220В" для подачи питания от внешней сети переменного тока;

тумблер "АКК/СЕТЬ" для выбора источника питания.

Внутри корпуса БП расположен тумблер заряда аккумулятора "ЗАРЯД. АКК."



Рисунок 59 - Боковая стенка корпуса БП

Порядок работы.

1) Установить систему сбора и регистрации в условиях эксплуатации. Подсоединить датчики, используемые в реальной конфигурации.

2) Выбрать источник питания БР (от аккумулятора или от сети переменного тока), установив тумблер "АКК/СЕТЬ" в соответствующее положение. Подсоединить кабели К4, К5 (смотреть схему подключения ССР).

3) На плате модуля энергонезависимой памяти установить перемычку, определяющую адрес ЭнЗУ как внешнего устройства (рисунок 60).

Если модуль ЭнЗУ не предполагается вставлять в ПЭВМ, то адрес внешнего устройства может быть любым и положение перемычки на плате ЭнЗУ безразлично.

Если же предполагается работа ЭнЗУ в составе ПЭВМ, то до установки данной платы в ПЭВМ следует определить свободную линию и именно ее использовать для ЭнЗУ. При несоблюдении этого условия возможно возникновение конфликтных ситуаций на шине ISA.

Базовые адреса модуля ЭнЗУ: 300 или 310, или 330, или 340.

Загрузка системы. Для загрузки базовой конфигурации следует:

подключить БР к ПЭВМ с помощью последовательного порта ("COM1");

подать питание на БР, установив тумблер "ВКЛ./ОТКЛ." в положение "ВКЛ."

запустить программу Lsv196w и загрузить требуемую конфигурацию (более полная информации по работе с программой представлена в Руководстве оператора).

После этих действий ССР готова к работе.

Сбор информации.



Рисунок 60 - Плата модуля энергонезависимой памяти

1) Разъемы неиспользуемых датчиков закрыть заглушками.

2) Тумблер "ВКЛ./ОТКЛ." перевести в верхнее положение, соответствующее включенному состоянию БР.

3) В результате этих действий ССР находится в режиме сбора, накопления и хранения информации от подключенных датчиков в энергонезависимой памяти.

4) При необходимости проверить уровень питающего напряжения, поступающего на БР, нажав на кнопку "КОНТР. ПИТ" и удерживая ее несколько секунд. Используя таблицу 4, определить уровень заряда батарей.

Таблица 4 – Определение уровня заряда батареи.

Цвет светодиода	Напряжение, В
1 зеленый	$> 10,7$
2 зеленый	$10,7 \div 12$
желтый	$12 \div 13$
красный	< 13

Передача информации.

Передача информации в ПЭВМ может осуществляться несколькими способами.

1) Подключить ПЭВМ к БР с помощью последовательного или параллельного порта ("COM1" или "LPT" соответственно).

Следует учитывать, что при использовании последовательного порта БР прекращает сбор информации, а при использовании параллельного – процессы сбора и передачи информации могут проводиться параллельно.

2) Изъять плату модуля энергонезависимой памяти из блока регистрации ССР и вставить в свободный слот ISA-шины ПЭВМ, учитывая, что модуль ЭнЗУ имеет следующие базовые адреса: 300 или 310, или 330, или 340.

3) Подключить радиомодем к БР с помощью последовательного порта ("COM2"). Далее действовать в соответствии с техническим описанием на конкретный тип радиомодема.

1.2.2 Переносной магнитометр на основе процессорного Оверхаузеровского датчика POS-1

Переносной магнитометр предназначен для измерения модуля индукции магнитного поля Земли в диапазоне 20000-100000 нТл. Основой прибора 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 и большей чувствительностью. Использование в составе датчика микропроцессора и последовательного порта позволяет:

- обрабатывать и пересчитывать частоту свободной ядерной прецессии непосредственно в величину модуля измеряемого поля;
- адаптировать обработку сигнала ядерной прецессии в зависимости от условий измерения;
- контролировать качество и условия измерения;

- управлять датчиком по порту с внешнего блока управления, в качестве которого может выступать специализированный регистратор или обыкновенный компьютер;
- проводить автоматическую внутреннюю настройку датчика, а также «ручную» настройку с внешнего блока управления;
- 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 в составе Баксанской геофизической обсерватории, в качестве:

- полевого магнитометра переносного типа для изучения магнитных аномалий в районе Эльбрусского вулканического центра и на прилегающих территориях;
- мобильной вариационной станции;
- обсерваторского магнитометра в составе Баксанской геофизической обсерватории;
- эталонного магнитометра мер слабого магнитного поля;
- магнитного канала многофункциональных геофизических систем Баксанской геофизической обсерватории.

Метрологические характеристики прибора приведены в таблице 5, а технические характеристики представлены в таблице 6.

Таблица 5 - Метрологические характеристики прибора.

№ 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 среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения при длительности измерения не менее 3-х секунд, не более, нТл	0,1
5	Модуль среднеквадратического 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°C до $+50^{\circ}\text{C}$, не более, нТл	1
7	Дополнительная погрешность измерения при отклонении первичного преобразователя на угол 45° от оптимальной ориентации, не более, нТл	1

Таблица 6 - Технические характеристики прибора.

№ 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 ± 10
11	Габариты (без учёта разъёмов), не более, мм - первичный преобразователь - блок электроники	Цилиндр $\varnothing 70 \times 120$ 160×90×60
12	Масса, не более, кг	2

1.2.3 Индукционный магнитометр

Переносной измерительный Индукционный магнитометр состоит из

воспринимающих элементов индукционного типа, выполненных по специальной технологии, которая разработана П. Беляевым (НИРФИ, г. Нижний Новгород). Это высокочувствительный индукционный датчик, который конструктивно защищен от помех, возникающих в результате наличия низкочастотных электрических полей. Изготовленный специально для магнитометра малошумящий широкополосный предварительный усилитель по достигнутым параметрам соответствует лучшим мировым образцам аналогичного класса. Технические характеристики предварительного усилителя магнитометра следующие:

Уровень шума в полосе 10 сек - 30 Гц не хуже: 0,5 мкВ.

Полоса частот неровне 0,7: 3 сек - 30 Гц.

Коэффициент усиления: 700.

Выходное напряжение: 1,0 В

Коэффициент подавления синфазной помехи: 70 дБ.

Напряжение питания: + 12 В.

Потребляемый ток: 50 мА.

Амплитудно-частотная характеристика усилителя магнитометра приведена на рисунке 61.

Для регистрации переменного магнитного поля Земли в звуковом диапазоне частот в геофизической обсерватории применяется трехкомпонентный индукционный магнитометр (рисунок, где показана Н-компонента прибора, установленная в лаборатории № 1).



Рисунок 61 - Общий вид индукционного магнитометра.

Блок-схема индукционного магнитометра приведена на рисунке 62.

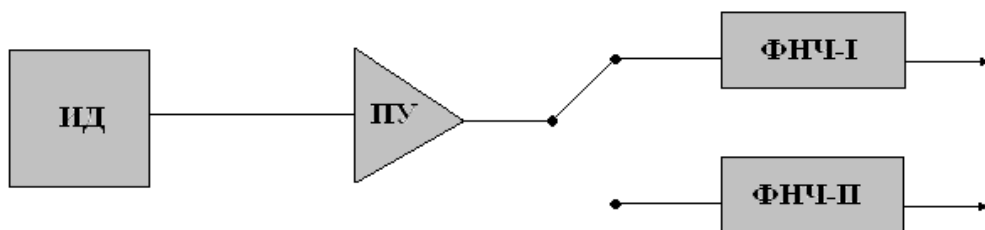


Рисунок 62 - Блок – схема индукционного магнитометра.

Цилиндрический корпус воспринимающего элемента магнитометра изготовлен из нержавеющей стали марки 18ХНТ10. Длина корпуса 1500,0 см, внешний диаметр 4,5см. Толщина стенки корпуса - 1,5 мм. Внутри корпуса помещены катушки медного провода, соединенные последовательно с выводом от средней точки. Общее число витков - 100 000. Диаметр провода - 0,1 мм. Катушки посажены на сердечник из пермаллоя 81 НМА, состоящий из 12 стержней длиной по 100 мм каждый. Диаметр стержня- 15 мм. Общая длина составного стержня - 120 см.

Обмотки воспринимающего элемента подключены на вход прецизионного дифференциального усилителя, входные цепи которого, выполнены на транзисторах КПЗОЗ А по 2 в параллель. За счет этого достигается уменьшение собственных шумов усилителя.

Полоса пропускания усилителя в сторону низких частот ограничивается величинами емкостей С1 и С1 сторону высоких - цепями коррекции О.У. Коэффициент усиления при изменении сопротивления в цепи обратной связи изменяется в пределах (250-700). Крайне важным в применении является уровень нелинейных искажений усилителей, что особенно принципиально при широкополосном приеме сигналов. Регулировка величины сопротивления в цепи обратной связи позволяет регулировать усиление входного каскада с некоторыми изменениями шумовых свойств в инфранизкочастотном диапазоне. Происходит повышение уровня фликкер-шума на частотах ниже 20 Гц при увеличении этого сопротивления; уровень интермодуляционных составляющих при этом минимален.

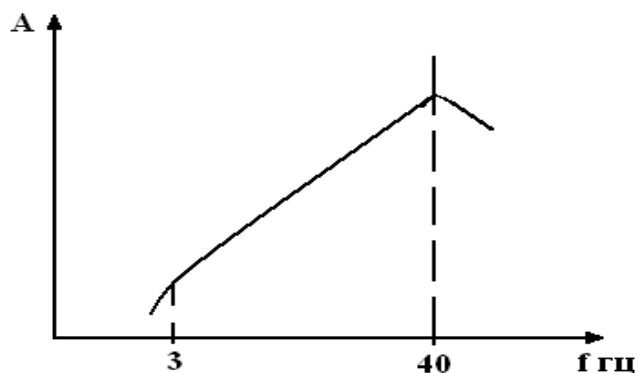


Рисунок 63 - АЧХ предварительного усилителя магнитометра. Выход предварительного усилителя подключается, к переключаемому фильтру низких частот (ФНЧ) с двумя амплитудно-частотными характеристиками: ШЧ-1 с наклоном характеристики – 36 дБ на частоте 10 Гц и ФНЧ - 2 с наклоном характеристики на частоте 30 Гц -36 дБ.

Калибровка магнитометра производится путем подачи синусоидального напряжения, частотой 3 - 5 Гц, в рамку, отнесенную от датчика на 3 - 4 м, плоскостью рамки перпендикулярно датчику.

1.3 Геомагнитные, гравиметрические и сейсмологические наблюдения, выполненные с использованием мобильных информационно-измерительных систем в районе Эльбрусского вулканического центра

1.3.1 Результаты натурных наблюдений магнитного поля в районе Эльбрусского вулканического центра

С целью выявления аномального поведения магнитного поля Земли в районе вулканического центра Эльбрус, которые обусловлены наличием магматического очага и камер, были пройдены магнитные профили от г. Нальчика вдоль Баксанского ущелья до поляны Азау. Для проведения измерения магнитного поля использовался мобильный 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 7 и 8.

Таблица 7 - Метрологические характеристики.

Характеристика (параметр)	Значение
Диапазон измерений модуля магнитной индукции, нТл	20000-100000
Коэффициент преобразования датчика	$1,0 \cdot 10^{12} \pm 0,5$
Основная систематическая погрешность измерения не более, нТл	1
Модуль среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения при длительности измерения не менее 3-х секунд не более, нТл	0,1
Модуль среднего квадратического отклонения случайной	50

составляющей погрешности измерения при длительности измерения не менее 3-х секунд и градиенте модуля поля 10000 нТл/м не более, нТл	
Дополнительная погрешность измерения в интервале температур от –10 °С до +50 °С не более, нТл	1
Дополнительная погрешность измерения при отклонении первичного преобразователя на угол 45° от оптимальной ориентации не более, нТл	1

Таблица 8 - Технические характеристики.

Характеристика (параметр)	Значение
Напряжение питания, В	10-15
Потребляемая мощность не более, Вт – средняя за цикл измерения – в режиме ожидания	3 0,05
Время жизни рабочего вещества датчика, лет	5-10
Градиентоустойчивость не менее, нТл/м	20000
Нестабильность за 8 часов работы, не более, нТл	0,3
Время установления рабочего режима не более, с	10
Длительность однократного измерения не более, с	3
Цикличность автоматического запуска измерений, с	1, 2, 3, 4, ...
Начальная амплитуда сигнала прецессии аналогового выхода, В	0,5-2
Угол оптимальной ориентации оси цилиндра первичного преобразователя относительно направления магнитного поля, град	90 ± 10
Габариты (без учёта разъёмов) не более, мм – первичный преобразователь – блок электроники	цилиндр Ø70×120 160×90×60
Масса не более, кг	2



Рисунок 64 - Рабочий момент. Измерение магнитного поля датчиком POS-1.

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 62).

Если не удавалось найти хорошую точку у дороги, то переносили компьютер в подходящее для измерения место и там проводили замер. Фотография аппаратуры, вынесенной на крутой берег горной реки, приведена на рисунок 65.



Рисунок 65 - Вид мобильного магнитометрического комплекса, установленного на крутом берегу горной реки Баксан.

Начальной точкой прохождения профиля был двор базы КБГУ перед лабораторией № 2. Далее через г. Чегем, по Баксанскому ущелью, через г. Тырнауз, пос. Эльбрус, пос. Терскол до поляны Азау.

Карта маршрута прохождения профиля представлена на рисунке 64.

На рисунке 65 приведён график движения по профилю в абсолютных координатах для поездок 2006 и 2007 годов.

Линейная развертка профиля изменения высоты вдоль маршрута приведена на рисунке 67.

График изменения магнитного поля вдоль профиля приведен на рисунке 69 и рисунок 70. Здесь, кроме профилей за 2006 и 2007 годы, приведены графики модуля вектора напряженности геомагнитного поля, рассчитанные по модели IGRF.

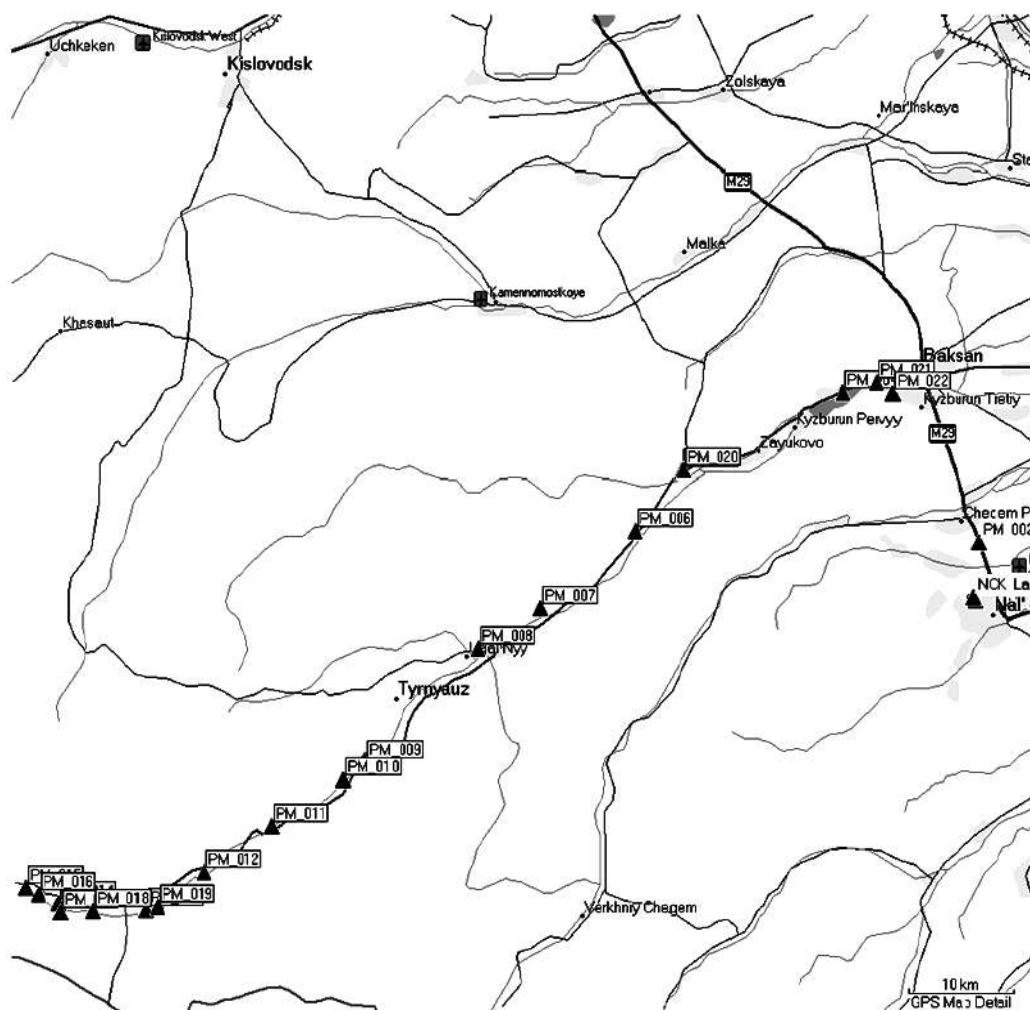


Рисунок 66 - Карта маршрута прохождения профиля.

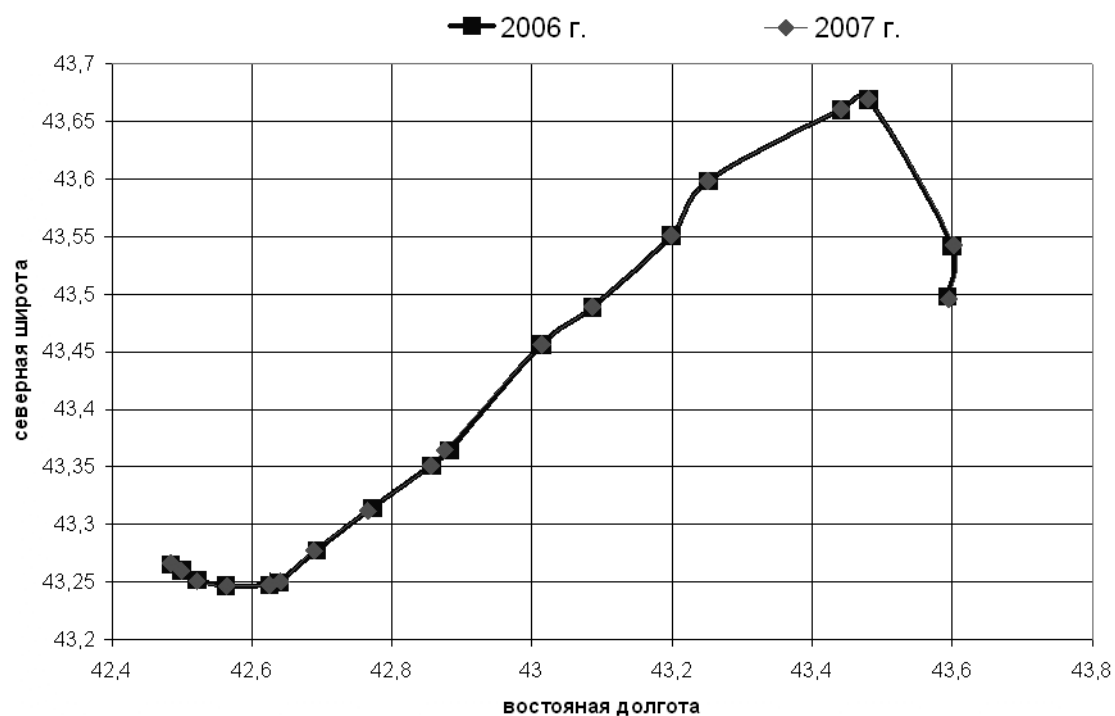


Рисунок 67 - График движения по профилю в абсолютных координатах

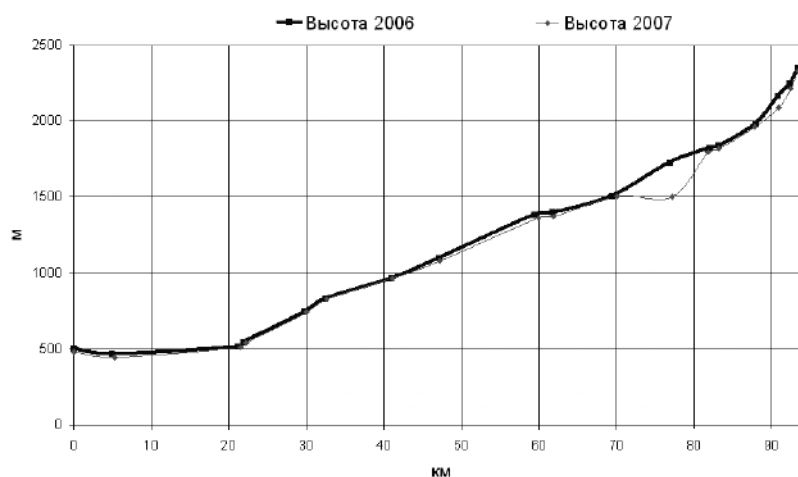


Рисунок 68 - Профиль высоты над уровнем моря.

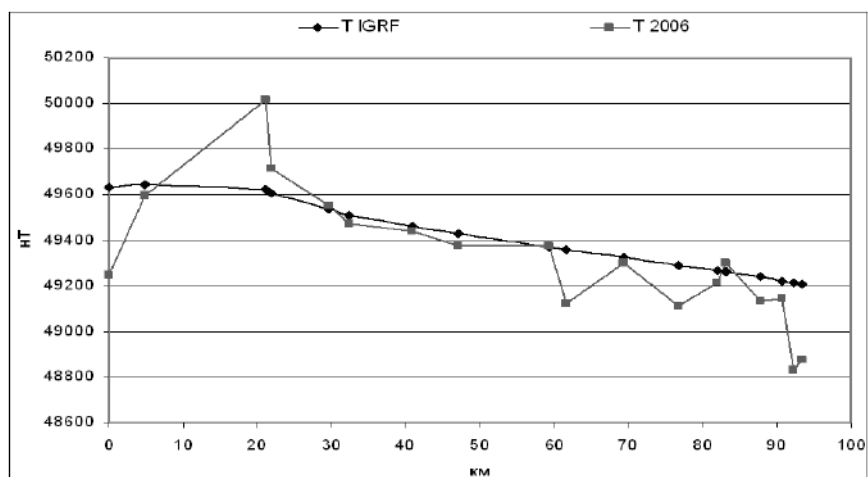


Рисунок 69 - Структура магнитного поля: T IGRF – расчет профиля по модели IGRF, T 2006 – измеренные данные.

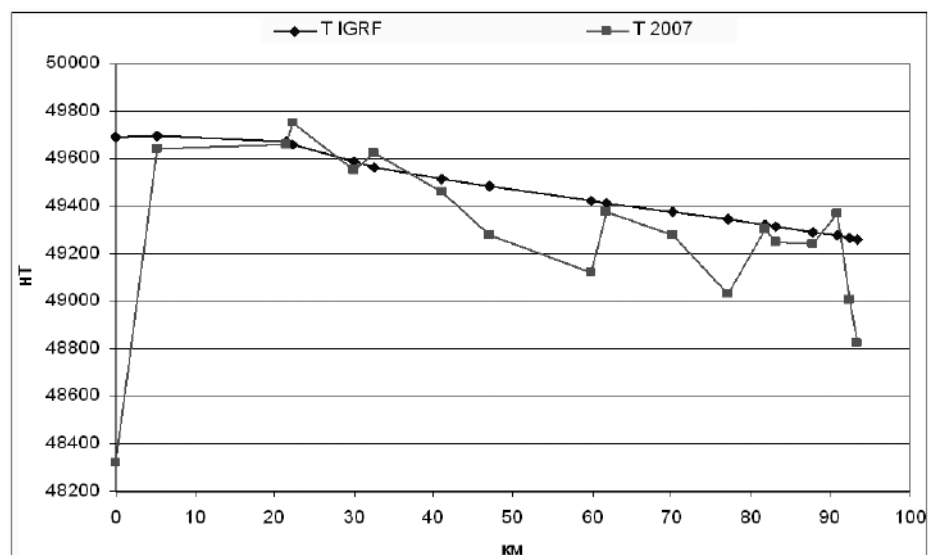


Рисунок 70 - Изменения в структуре магнитного поля через год.
 T IGRF – расчет профиля по модели IGRF, T2007 – измерение профиля в 2006 году

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. Она построена на основе экспериментальных наблюдений в геомагнитных обсерваториях, на кораблях, самолетах и искусственных спутниках Земли.

Модель реализована в виде набора модулей на фортране. Исходные коды программы bilcal, с помощью которой происходит расчет, можно скачать с сервера nssdcftp.gsfc.nasa.gov.

Отличие профиля в начале маршрута от расчетного профиля объясняется техногенными причинами. В районе КБГУ, где проводились измерения, пролегает 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 близповерхностной 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 изменение в структуре магнитного поля. При построении расчетного профиля вклад магматической

камеры не учитывался.

Отличие модели от экспериментальных значений начинается после Тырнауза (рисунок 71 «Осредненные данные за 2006-2007 гг.»). 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 данном случае – наоборот. Присутствие магматической камеры означает наличие большой массы, лишенной магнитных свойств, что приводит к ослаблению магнитного поля. Это и наблюдается по мере приближения к центру вулкана Эльбрус.

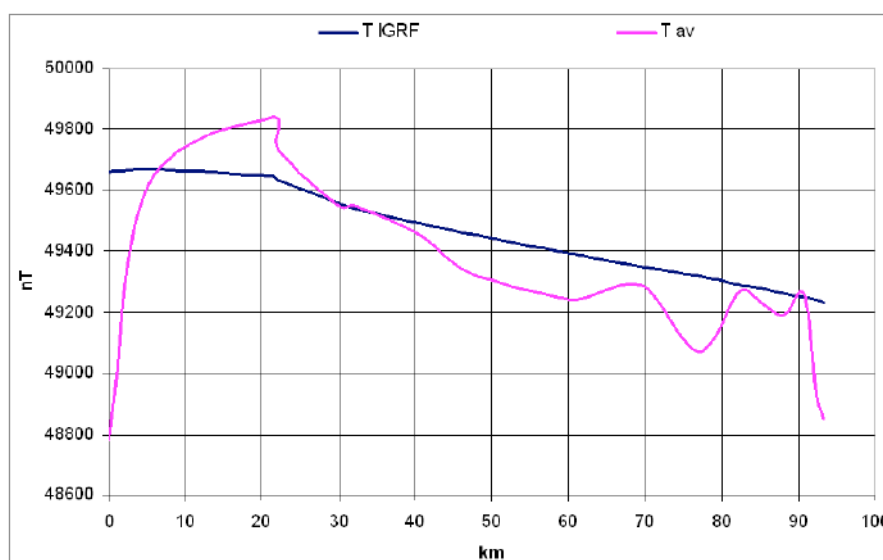


Рисунок 71 - Профиль прохождения магнитного поля (осредненный)
T IGRF – расчет профиля по модели IGRF, T – осредненная величина поля

Необходимо отметить, что границы начала резкого спада магнитного поляне изменяют своей структуры, что указывает на отсутствие изменений в размерах магматической камеры. Регулярное проведение таких измерений

может служить источником для выявления начала активности вулкана Эльбрус.

1.3.2 Аппаратура автономного контроля температурных полей в районе вулканического центра; современные технологии дистанционного зондирования тепловых полей на поверхности вулканической постройки. Экспериментальные работы по определению температуры в магматической камере

Известно, что тепловые процессы, протекающие в недрах вулканов, отражаются в приповерхностных температурных полях. Анализ задач, связанных с оценкой температурных полей магматической камеры и магматического очага, показывает, что здесь требуется решение класса задач, связанных с определением структуры приповерхностного теплового поля в районе вулканической постройки.

Анализ немногочисленных публикаций, относящихся к проблеме обнаружения проявлений вулканической активности в приповерхностном тепловом поле, указывает на возможность изучения и мониторинга этих процессов средствами дистанционного (в том числе) и космического теплового зондирования [11, 12, 13]. Однако при этом возникают неопределенности в оценке фоновых температур, что обязывает провести и площадные контактные измерения. В статье приводятся первые результаты комплексного изучения тепловых полей на вулканической постройке Эльбруса. Уточнены границы аномалий и в ряде случаев даны оценки теплового потока.

Теоретической основой дистанционного метода являются системные представления о нормальных и аномальных геотермических полях, геотермические критерии тектонической, сейсмической, геодинамической и вулканической активности [14, 15].

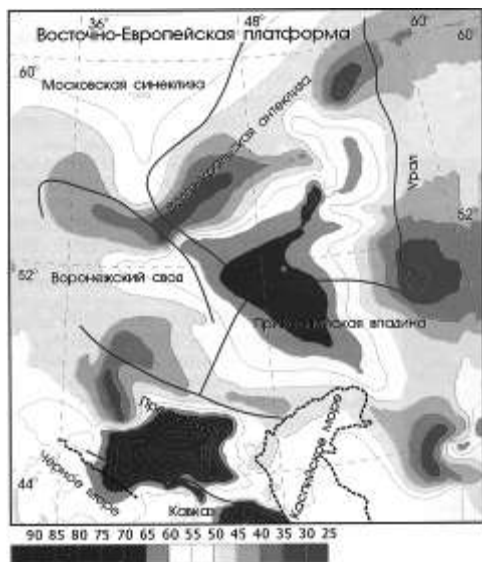
Вулканическая и тектоническая активность в районе может характеризоваться усилением процессов вертикального тепломассопереноса по разломам и разрывным нарушениям, что приводит к возникновению линейно вытянутых положительных аномалий температур поверхности или к

последовательному чередованию положительных и отрицательных температурных аномалий вдоль разлома [16].

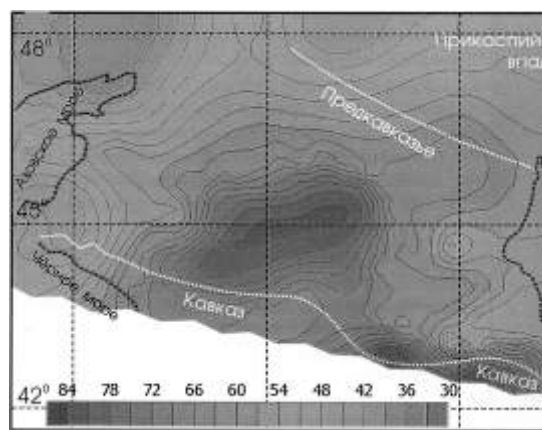
Модель конвективной самоорганизации в пределах флюидосодержащей разломно-блоковой геологической среды, приводящей к образованию закономерного сочетания восходящих и нисходящих флюидных потоков, в определенной мере объясняет чередование положительных и отрицательных аномалий поверхностного геотермического поля, наблюдаемого над активными разломами, создавая мозаичную структуру геотермического поля на относительно однородном тепловом фоне [17].

Вопрос о проявлении новейших геодинамических процессов в приповерхностном температурном поле до настоящего времени экспериментальными методами широко не исследовался.

Ряд экспериментальных работ, проведенных в пределах активных локальных геодинамических структур, указывают на то, что современные локальные движения земной коры находят отражение в приповерхностных температурных полях [18].



а)



б)

Рисунок 72 - Характер распределения теплового потока и температуры на глубине 1000 м. [19].

Положительные аномалии температуры амплитудой до первых градусов

отражают участки вертикального теплового потока. Одной из причин возникновения подобных аномалий могут являться магматические образования и структуры дилатансного типа.

Обобщение работ по изучению поверхностных тепловых полей показывает, что для характеристики активности эндогенных процессов, по данным ТДЗ, информативными параметрами могут быть значения радиационной температуры (РТ) с усреднением при заданной детальности анализа, среднеквадратическое отклонение РТ, а также вариации теплофизических свойств (тепловая инерция) верхнего слоя земной поверхности.

Целенаправленных публикаций, отражающих результаты исследований по выявлению зон скрытого очагового магматизма методом ТДЗ, нами не найдено. То же касается данных видимого диапазона длин волн, только здесь имеются результаты по изучению тепловых аномалий в районе Эльбрусского вулканического центра, которые показывают, что его восточная вершина на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ теплее западной [1, 13].

Тепловое дистанционное зондирование – метод, основанный на бесконтактном определении плотности потока излучения поверхности в инфракрасном (ИК), тепловом диапазоне длин волн. Здесь наиболее информативной является дальняя область ИК-излучения в диапазоне 8-14 мкм, попадающая в окно прозрачности атмосферы на этих длинах волн.

В основном ТДЗ осуществляется с космических и воздушных аппаратов. Регистрируемое излучение, выраженное в значениях радиационной температуры (РТ), является функцией термодинамической температуры и спектрального коэффициента излучения, характеризующего оптические свойства излучающей поверхности. Современные технические средства ТДЗ могут обеспечить измерение РТ с чувствительностью порядка $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и лучше. Результатом съемки является цифровое (или фотографическое) изображение в черно-белом или цветном исполнении, отражающие абсолютные или относительные значения РТ поверхности.

Приповерхностное тепловое поле – условное понятие, характеризующее

термический режим Земной коры от поверхности до глубины нейтрального слоя (влияния инсоляции) и выраженное в значениях теплового потока, температуры, градиента температур или РТ.

Следует отметить, что уровень флуктуаций радиационной температуры реальных наземных фонов, связанных с ТИ, может в несколько раз превышать интенсивность температурных аномалий эндогенной природы. К другим, наиболее значимым факторам влияния относятся расчлененность рельефа и неравномерность излучательных характеристик земной поверхности.

В настоящей статье мы не останавливаемся на детальной характеристике метода, отсылая читателя к оригинальной литературе [11, 12, 13].

Перейдем далее к анализу результатов изучения поверхностного теплового поля в районе Эльбрусского вулканического центра методами теплового дистанционного зондирования (ТДЗ).

В районе Эльбрусского вулканического центра при проведении исследований [21] были обнаружены тепловые аномалии (рисунок 73).

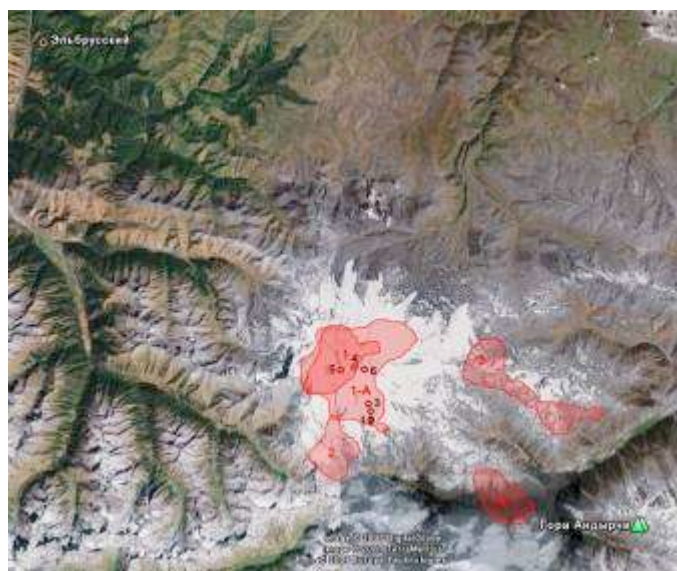


Рисунок 73 - Карта тепловых аномалий, которые были обнаружены в районе Эльбрусского вулканического центра.

В пределах вулканического конуса зафиксированы тепловые аномалии интенсивностью более $0,5^{\circ}\text{C}$, пространственно совпадающие с данными магнито-теллурического и резонансного зондирования глубинных структур

вулкана, которые подтверждают наличие приповерхностной магматической камеры на глубине около 8-1 км от поверхности [1].

Аномалии (2) и (3) примерно той же интенсивности, расположенные по периферии ледовой «шапки» Эльбруса, малоинформативны (в первую очередь аномалия (3)) в связи с неустойчивым состоянием здесь снежного и ледового покрова.

Аномалии (4) и (5), расположенные к востоку и западу от г. Эльбрус, пространственно тяготеют к Султранскому магноподводящему разлому (северо-западная часть аномалии (3) находится также в пределах этого разлома) весьма интересны и должны быть исследованы методами экспериментальной геофизики.

Две тепловые аномалии (6) на северном склоне Передового хребта пространственно связаны с крупной тектонической зоной запад-северо-западного направления с падением к северу. Аномалии расположенные несколько южнее, – группы относительно молодых субвулканов Таш-Тюбе, возраст извержения их установлен радиоуглеродным методом в 39000 лет, вблизи их выявлена низкоомная аномалия субширотного направления, которую естественно связать с глубинным магматическим очагом.

Необходимо отметить, что, если аномалии 1 и 1А подтверждаются (или подтверждают) данными геофизических исследований, то остальные аномалии потребовали дополнительной целенаправленной проверки контактными методами.

Первые контактные наблюдения тепловых особенностей и структуры поверхностных тепловых полей в районе вулканической постройки Эльбруса и на территории Эльбрусского вулканического центра были начаты в конце 2006 года экспедицией ИФЗ РАН при участии ученых ИГЕМ РАН и КБГУ. Процесс изучения включал несколько этапов. Сначала на базе имеющегося научного оборудования Северокавказской геофизической обсерватории был развернут мониторинг температурных полей в подземных лабораториях.

Штольни Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН, расположенные

в теле горы Андырчи, проветриваются при помощи вытяжной вентиляции только до 4000 метров. Дальше существует застойная зона, которая в полной мере отражает реальные температурные процессы в непосредственной близости от основных магматических образований вулкана Эльбрус. В этой зоне расположена и лаборатория № 2, которая стала опорной при изучении внутренних тепловых полей.

На первом этапе наблюдения тепловых полей были выполнены на базе многоканальной тепловой станции лаборатории № 2. Эти данные приведены на рисунке 74. Характеризуя последние, отметим весьма стабильный, хотя и напряженный для электронных приборов, температурный режим в помещении лаборатории.

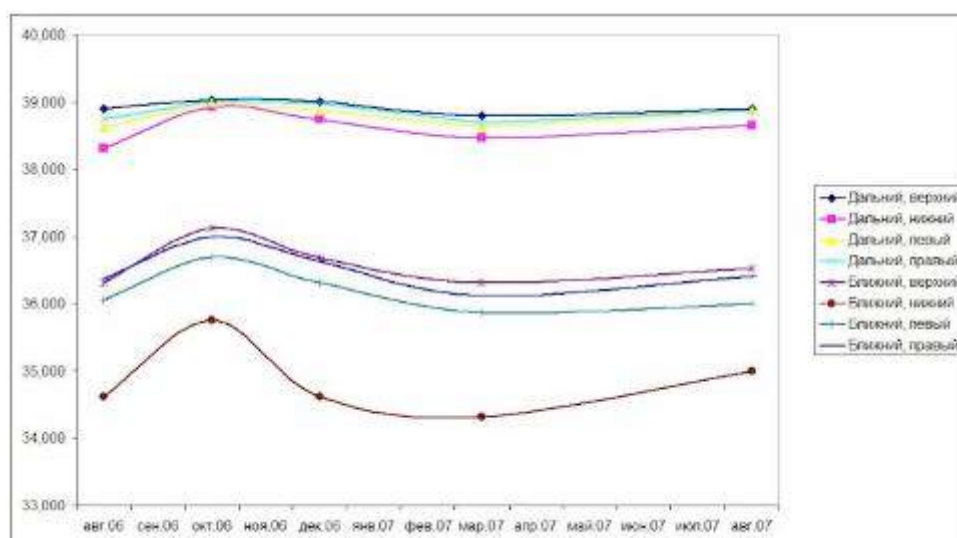


Рисунок 74 - Значение максимальных температур в лаборатории № 2. Измерения завершены 7 августа 2007 г.

Длина боковой вырубki, в которой развернуты геофизические информационно-измерительные системы лаборатории № 2 (рисунок 75), составляет 70 метров. В конце вырубki существует стабильная застойная температурная зона. Анализируя температурное поле, следует отметить, что по мере удаления от входа в лабораторию, где еще ощущается слабое влияние вытяжной вентиляции, температуры внутри помещения и на стенках вырубki постепенно стабилизируются и затем практически не изменяются во времени.

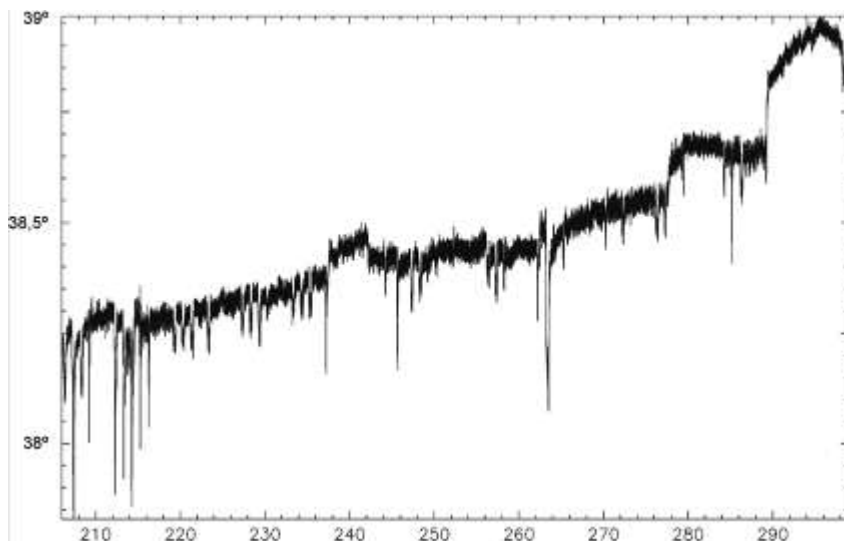


Рисунок 75 - Изменение температуры в вырубке на углублении 4100 метров в лаборатории № 2. Температурный датчик установлен в районе дальнего постаменты на удалении 58-ми метров от штольни «вспомогательная».

Более того, в конце измерений даже температура в нижней части вырубке стабилизировалась и приблизилась к 35 °С.

Изучая температурный режим в самой вспомогательной штольне, удалось выявить весьма резкое изменение температуры в ее конце на 43 пикете – удаление от устья 4200-4300 метров (рисунок 75).

Здесь струи пара выделяются из крутых и сопряженных с ними трещин другой ориентировки.

В целом же важно подчеркнуть, что в выработках штольни, отходящих от нее в западном направлении, бьют струи горячего пара, в то время как в выработках восточных румбов наблюдаются выходы холодной воды.

Напрашивается вывод о том, что подводящие тепло каналы расположены со стороны Эльбруса, и что примерно по простирацию вспомогательной штольни располагается некий геологический экран, определяющий поступление к западу от него более высокотемпературных флюидов.

Несмотря на то, что при конденсации температура в окружающей среде должна понижаться, в процессе измерений отмечено общее повышение температуры за истекший год, примерно на 2-3 °С.

В настоящее время температура паровоздушной смеси достигла здесь 42-44 °С.



Рисунок 76 - Расположение температурных датчиков в конце вырубki (лаборатория № 2).

Обращает на себя внимание высокий температурный градиент, который был получен в месте расположения лаборатории № 2. Поскольку углубление лаборатории в сторону от штольни «Вспомогательная» составляет 70 м, в ее конце наблюдается застойная зона, где циркуляция воздуха практически отсутствует. Установив два температурных Логгера на торцевую стену вверху и внизу с разномом 2,5 метра (рисунок 76), удалось получить результат, который представлен на рисунке 77.

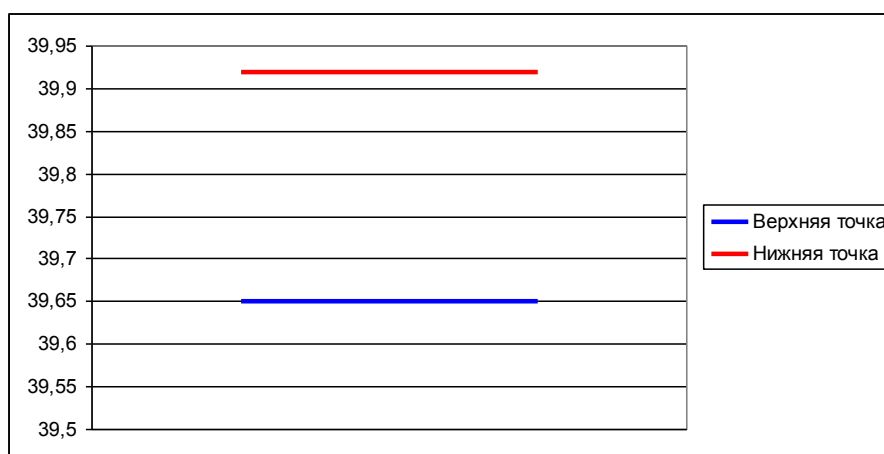


Рисунок 77 - Температуры в конце вырубki лаборатории № 2. Запись велась в течение 5 суток. Измерение.

Анализируя приведенные на рисунке 75 данные, можно видеть, что в период проведения измерений температура не менялась, а температурный градиент в конце вырубki равен 0,25 °C. Полученные данные были подтверждены и дистанционными измерениями, проведенными при помощи пирометра (Center 350 Series). Отметим, что локальные температурные градиенты отмеченного масштаба были обнаружены и в других местах штольни «Вспомогательная».

Используя полученное значение градиента с учетом теплопроводности вмещающих пород в окрестности близлежащих магматических структур удалось установить, что верхний свод магматического очага в районе горы Андырчи находится на глубине порядка 8 км относительно уровня моря. Это соответствует данным, которые были определены другими, как теоретическими, так и экспериментальными методами [22].

В процессе проведения экспериментов были измерены температуры при помощи Логгеров и в конце штольни «Вспомогательная». Эта часть штольни, где полностью отсутствует влияние вытяжной вентиляции, заполнена паром. Здесь можно наблюдать, как из стен штольни вырываются мощные флюидные потоки в виде водяных струй и газопаровых образований. В результате этого в нижней части штольни сформировался слой горячей воды глубиной до 70 см. Проходческая машина, оставленная строителями, очень сильно корродирована (части машины рассыпаются при прикосновении). Логгер, установленный на этой машине, зафиксировал температурный режим в течение 11 суток. Эти данные представлены на рисунке 78. Анализируя их, отметим, что температура здесь не остается постоянной. Иногда наблюдаются флуктуации величиной 2-2,5°C, а средняя температура в конце штольни составляет 40-41 °C. Пребывание человека в этом районе затруднено: недостаток кислорода, 100 % влажность в сочетании с достаточно высокой температурой. Все это не позволило измерить нам температурный режим в самом конце штольни в местах выхода флюидных потоков.

Эти данные мы планируем получить в будущем с помощью специальных

дыхательных аппаратов и гидрокостюмов.

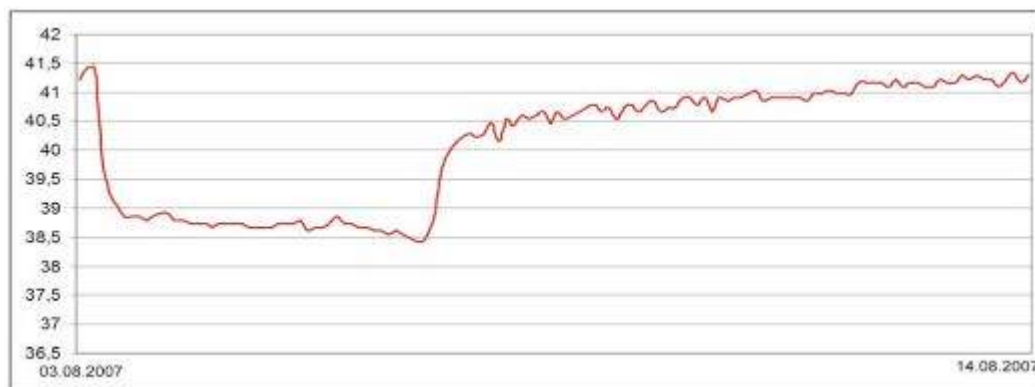


Рисунок 78 - Характер изменения температуры в конце штольни «Вспомогательная» БНО РАН, углубление в гору Андырчи 4350 метров. Измерение температуры производилось в течение 11 суток при помощи миниатюрных термографов High Capacity Temperature Loggers iButton с корпоративным обозначением DS1922.

Анализ всех приведенных выше данных однозначно свидетельствует о том, что вулкан Эльбрус относится к категории активных вулканов, но «спящих» в настоящее время. Полученные новые данные дают основание полагать, что не исключено возобновление вулканической активности как в пределах вулканической постройки, так и на удалении от нее. В ряде мест на вулкане эпизодически наблюдается спонтанная фумарольная активность, особенно под восточным вершинным кратером и ниже скал Пастухова (выбросы сернистого газа и пара вдоль тектонических трещин под ледником, в результате чего в теле последнего образовались линейные проталины и гроты). Важно отметить, что после 2002 г. интенсивность и частота проявления фумарольной активности увеличились. Наблюдения подтверждают усиление флюидной активности практически на всей территории Эльбрусского вулканического центра.

В процессе полевых работ 2006-2007 гг. в районе Эльбрусского вулканического центра установлены следующие важные факты, свидетельствующие о возможной активизации вулканических процессов на глубине (в магматических камерах и очаге).

Еще в сентябре 2002 г под восточным вершинным кратером Эльбруса, на площади около 150x250 м, произошло быстрое таяние снежно-ледового покрова. В результате обнажился голоценовый лавовый поток в виде черного

пятна (рисунок 79). Отметим, что именно в этом районе вулканической постройки, по данным дистанционного зондирования, находится тепловая аномалия № 1-А [22].



Рисунок 79 - Общий вид на вулкан Эльбрус со станции Кругозор. Под восточной вершиной видно черное пятно, образовавшееся в результате быстрого таяния снежно-ледового покрова (сентябрь 2002 г., фото. Л.Е. Собисевича).

В процессе полевых работ нами было установлено, что площадь этого черного пятна на тепловой аномалии № 1-А [22] увеличилась вдвое. Кроме того, непосредственно под восточной вершиной Эльбруса, на высоте около 5400 м появились еще два новых пятна (со стороны рек Баскан и Малка). Появление пятен также обусловлено быстрым таянием льда в пределах указанной тепловой аномалии, в результате чего продолжилось обнажение голоценовых лавовых потоков.

Сотрудниками Лаборатории прикладной геофизики и вулканологии ИФЗ РАН и кафедры чрезвычайных ситуаций КБГУ в процессе проведения экспедиционных исследований на вулканической постройке Эльбруса в районах тепловых аномалий №№ 1 и 1-А зафиксирована выраженная флюидная активность.

В результате этого процесса активизировалась фумарольная деятельность, а на обнажившихся скальных выходах, сложенных лавами, были обнаружены новообразованные колонии лишайников.

Наблюдаемые аномальные явления, развивающиеся на таких высотах

(4500-5000 м), обусловлены, скорее всего, постоянными повышенными температурами на отдельных участках в пределах выделенных температурных аномалий. При этом одной из основных причин повышения температур в отдельных районах вулканической постройки Эльбруса естественно связывать с наблюдающейся в этом регионе флюидной активностью.

В подтверждение сказанного следует привести и тот факт, что в западной части аномалии № 1 происходит интенсивное отступление языка ледника Кюкюртли.

Здесь альпинисты неоднократно отмечали запах сернистого газа.

В августе комплексная экспедиция, включающая ученых Института физики Земли РАН и Кабардино-Балкарского государственного университета Министерства образования и науки РФ, совершила 4 восхождения на восточную и западную вершины вулкана Эльбрус и к озеру у подножья ледника Малый Азау (рисунки 80, 81).



Рисунок 80 - Места установки автономных температурных датчиков (логгеров) на теле вулканической постройки Эльбруса в период проведения экспедиционных работ.



Рисунок 81 - Отступающий ледник Малый Азау. Справа видна часть озера, образовавшегося в результате таяния ледника.

При восхождении на восточную вершину в состав экспедиции были включены и представители Института географии РАН.

Основные направления экспедиционных работ имели целью изучение тепловых процессов в районе Эльбрусского вулканического центра с выходом на обнаруженные ранее тепловые аномалии и оценку современной фумарольной деятельности. Возглавлял все четыре восхождения известный альпинист и ученый, к.т.н. Сердюков И.И.

Уже первое восхождение на восточную и западную вершину убедили членов экспедиции в том, что в этом регионе на поверхности вулканической постройки развиваются аномальные тепловые процессы. На восточной вершине была обнаружена фумарола рисунок 82.



Рисунок 82 - Фумарола на высоте 5599 метров. Восточная вершина. Снимок И.И. Сердюкова.

Температурные наблюдения, проведенные в районе восточной вершины вулкана, показали, что температура поверхностного слоя породы на дне фумаролы составила, в момент посещения, 6°C. Участники экспедиции ощущали выход флюидов (паров и других газов), затрудняющих их пребывание непосредственно в районе фумаролы. Других фумарол на восточной вершине в период этого посещения обнаружено не было.

Отборы проб газа на сероводород, углекислый газ и метан при помощи мобильных пробоотборников дали отрицательный результат. Скорее всего, в составе наблюдавшихся паровых эманаций, затруднявших дыхание,

присутствовали в значительных концентрациях радон, гелий и другие газы, что в условиях кислородной недостаточности и создавало дискомфортную обстановку.

Были проведены измерения размеров фумаролы. Эти данные представлены на рисунке 81.

Измерение температур на поверхности вулканической постройки производилось при помощи миниатюрных термографов High Capacity Temperature Loggers iButton с корпоративным обозначением DS1922. Они являются контактными защищенными регистраторами температуры, относящимися к семейству iBDL.

Термографы производятся компанией Dallas Semiconductor Corp. с мая 2004 года. Каждый из них представляет собой полностью защищенный одноканальный электронный самописец (далее логгер).

Общий вид температурного логгера и интерфейса для его программирования и снятия результатов приведен на рисунке 83.

Логгер обеспечивает накопление в собственной энергонезависимой памяти значений температур среды, окружающей их корпус, в различных измерительных диапазонах с привязкой к реальному времени.



Рисунок 83 - Температурный логгер.

Технология измерения поверхностных температур в районе Эльбрусского вулканического центра сводилась к следующему. Запрограммированные на заданный временной интервал записи температуры логгеры устанавливались на поверхности вулканической постройки таким образом, чтобы прямые

солнечные лучи не вносили больших искажений в их показания.

В процессе восхождения на вершину, по мере подъема участников экспедиции на вершину температурные логгеры устанавливались в местах, где имелись выходы коренных пород (лавовых потоков и других геологических образований). Во всех случаях, когда представлялось возможным, логгеры устанавливались в расщелины на теневой стороне таким образом, чтобы избежать «несанкционированного» доступа любопытных альпинистов, совершающих восхождения на Восточную и Западную вершины.

Однако и в этом случае нам не удалось избежать аппаратурных потерь. В процессе проведения работ 2 логгера бесследно исчезли.

Пример записи поверхностной температуры, зафиксированной на вулканической постройке логгером № 1 на высоте 3828 м. (в районе хижины гляциологов), приведен на рисунке 84.

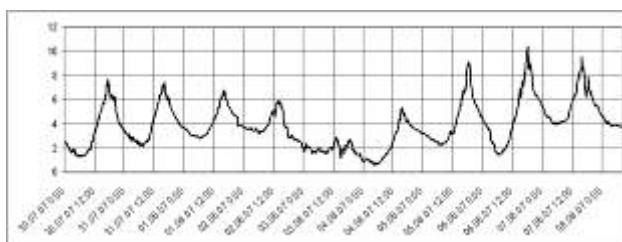


Рисунок 84 - Результаты измерений температуры датчиком №1 на высоте 3828 м (район хижины гляциологов).

Датчик № 1 был установлен прямо в выходы лавового потока на высоте не более 15 см от поверхности вулканической постройки; ледник Малый Азау (срединная часть) находится ниже места установки датчика более чем на 200 метров (рисунок 85).



Рисунок 85 - Место установки логгера № 1 на вулканической постройке. (Высота 3828 м, северная широта 43°18.211, восточная долгота 42°27.560).

Результаты измерений показывают, что в районе установки логгера имеется устойчивая температурная аномалия. Температуры здесь изменяются в течение суток от 0,2 до 8,0-10,0°C, а в случае пасмурной погоды, когда в районе вулканической постройки сплошная облачность, температура остается положительной и днем и ночью – в пределах 2,0 °С.

Отметим, что эта область вулканической постройки Эльбруса вписывается в тепловую аномалию № 1А, выделенную методами дистанционного зондирования.

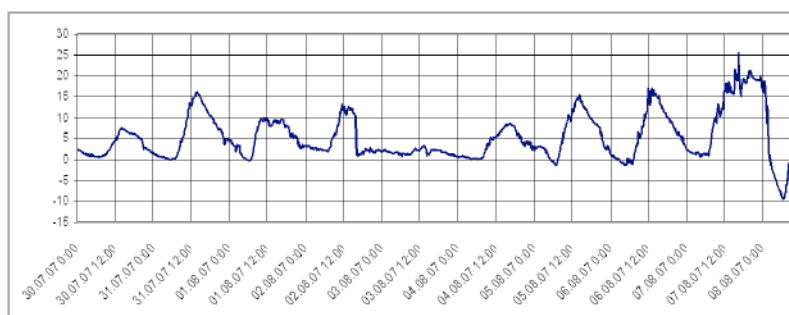


Рисунок 86 - Результаты измерений поверхностных температур логгером № 2.

Перейдем к рассмотрению результатов измерения поверхностных температур Логгером № 2 на высоте 3904 м. Прибор был установлен ниже Приюта 11 на скальной гряде, которая окружена обширным ледовым полем (рисунок 87).



Рисунок 87 - Место установки логгера № 2. (Высота 3904 м, северная широта 43°18.443, восточная долгота 42°27.556).

Зафиксированные здесь в процессе проведения эксперимента среднесуточные температуры имеют положительный баланс, а в пасмурную погоду днем и ночью они колеблются в районе $0-2,0^{\circ}\text{C}$, что вполне укладывается в результаты, полученные методами дистанционного зондирования для этого участка поверхности вулканической постройки.

И только иногда резкие похолодания окружающего воздуха наряду с ураганными ветрами приводят к изменениям установившегося ритма температурного режима в этом месте вулканической постройки. Именно такие погодные условия, которые характерны для Эльбруса даже в августе, привели к потере 7 логгеров, установленных на вулканической постройке в районе Восточной вершины.

Логгер № 3 был установлен на высоте 4699 м (в районе скал Пастухова). Измерения проводились в течение суток. Результаты этих измерений представлены на рисунок 88.

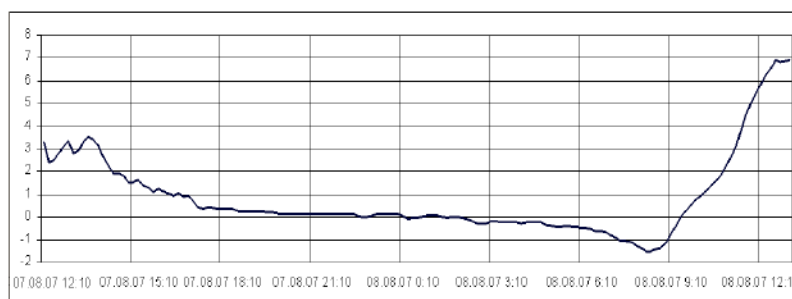


Рисунок 88 - Результаты измерений температуры логгером № 3 в районе скал Пастухова.

Полученные результаты свидетельствуют об устойчивой температурной аномалии в этом районе. Средняя температура находится в пределах от -1° до $+1^{\circ}\text{C}$.

Логгер № 4 был установлен на высоте 5300 м. (седловина Эльбруса). Измерения проводились с 4 часов утра до 12 часов.

Такой режим измерений был обусловлен кратким пребыванием участников экспедиции на этой высоте. Результаты измерений представлены на рисунке 89.

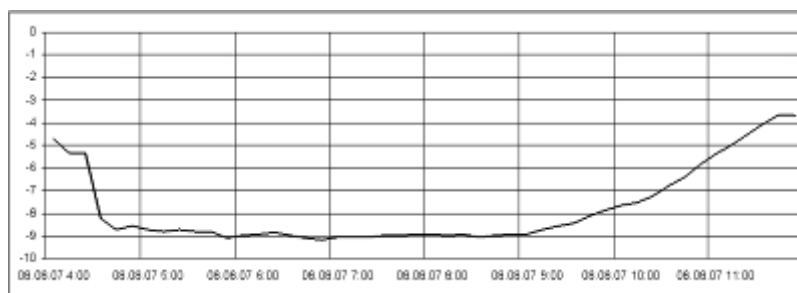


Рисунок 89 - Результаты измерений температуры датчиком № 4 в районе седловины Эльбруса.

В районе седловины поверхностные температуры в утренние часы находятся в пределах от -8 до -9 °С. Такие величины температур для этого участка вулканической постройки свидетельствуют об аномальных тепловых процессах.

Логгер № 4 был установлен на высоте 5220 м (впадина Кюкюртлю). Результаты измерений представлены на рисунок 90.

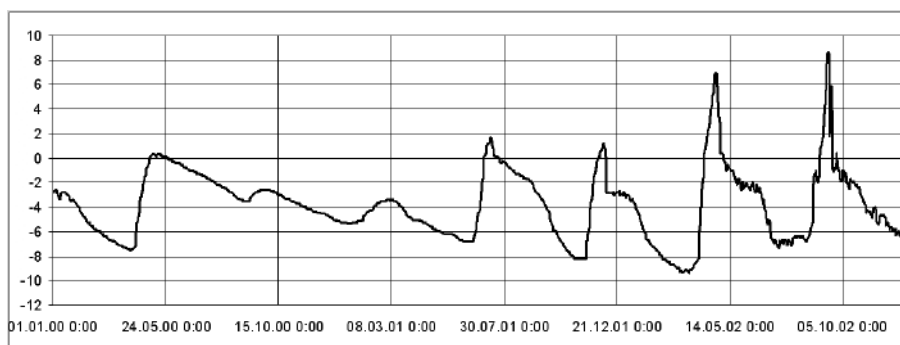


Рисунок 90 - Результаты измерений температуры датчиком № 5. Впадина Кюкюртлю.

В районе впадины Кюкюртлю поверхностные температуры в утренние часы находятся в пределах от -6 до -9 °С.

Логгер № 5 был установлен в районе восточной вершины Эльбруса на высоте 5617 м. Период измерений с 10:15 до 11:00. Такой режим измерений был обусловлен кратким пребыванием сотрудников на этой высоте.

В районе Восточной вершины (скальной) Эльбруса поверхностные температуры в период измерения находились в пределах от 0 до 16 °С.

Таким образом, контактное измерение температурного режима поверхности вулканической постройки позволили установить наличие

температурных аномалий, которые свидетельствуют об активизации флюидно-магматических процессов.

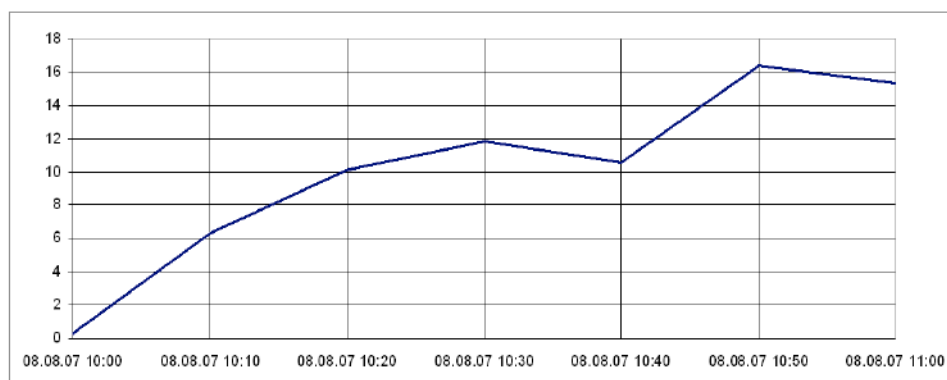


Рисунок 91 - Результаты измерений температуры датчиком № 6.



Рисунок 92 - Место установки логгера № 6 на поверхности вулканической постройки. Восточная (скальная) вершина Эльбруса, высота 5617 м.

Эти выводы подтверждаются и другими наблюдениями. Так, в пределах тепловой аномалии № 3 в районе перевала Ирик, наблюдается интенсивное таяние снежно-ледового покрова. В западной части этой аномалии отмечено развитие проталин с образованием гротов в фирновом снегу и в леднике, с периодическим выделением пара (возможно, фумарольного происхождения) и запахом сернистого газа. Результаты измерения температурных полей на поверхности вулканической постройки подтвердили, что полученные при обработке ночных тепловых снимков со спутника NOAA результаты свидетельствуют о возможности выявления в высокогорных районах «малоамплитудных» тепловых аномалий радиусом 5-10 км, связанных с существующими приповерхностными (промежуточными) магматическими

камерами. Как показали результаты наших исследований, тепловые аномалии, выявленные в зонах развития оледенения на Северном Кавказе, оказывают интенсивное воздействие на динамику тех частей ледников, которые расположены над ними. Поэтому при различных видах гляциологических исследований необходимо учитывать результаты анализа ночных тепловых снимков, полученных с различных систем спутников. Мониторинг интенсивности тепловых аномалий, пространственно совпадающих с приповерхностными магматическими камерами, выявленными комплексом методов, может служить хорошим индикатором возможности возобновления вулканической активности в изучаемом регионе.

1.3.3 Исследование температур на вулканической постройке в районе образовавшегося озера близ ледника Малый Азау

Развитие тепловых процессов на поверхности вулканической постройки Эльбруса привело к интенсивному таянию некоторых ледников. В результате в районе ледника Малый Азау появилось озеро. Нами было проведено специальное восхождение с целью измерения температуры в озере, расположенном несколько ниже языка ледника Малый Азау на высоте 3286 метров. Координаты озера: высота 3276 м, 43°17' с.ш., 42°27' в.д.). В процессе измерений использовался комплект оборудования «РЕЖИМ-АВТОМАТ-ТЕРМО-10-100», который позволил организовать автоматизированные наблюдения (с накоплением данных на цифровых носителях) за температурами в глубине озера (рисунок 93).



Рисунок 93 - Термокоса в сборе. На переднем плане логгер с приставкой (центральная вставка) для установки исходных данных на проводимые измерения. На конце кабеля предусмотрен оттягивающий груз, облегчающий установку термокосы в обводненную скважину.

Основные технические характеристики измерительной системы:

- диапазон измерений $-20...+ 50\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- число температурных датчиков в термокосе – 10 шт.;
- длина термокосы – 100 метров;
- расстояние между температурными датчиками – 10 метров;
- основная погрешность измерений (%): не более 0.5 (приведенная к полной температурной шкале);
- дополнительная погрешность, обусловленная изменениями температуры (%), в диапазонах температур от -10 до $+ 50$ градусов Цельсия, на каждые 10 градусов: не более $\pm 0,015$;
- питание – автономное от встроенной в логгер литиевой батареи, срок службы которой 5 лет;
- габаритные размеры: линия связи – кабель КСПВ-27 длиной 110 м; логгер с диаметром корпуса – 40 мм, длиной по корпусу 190 мм.

Постановка такого эксперимента была вызвана необходимостью получения данных о температурах на различных глубинах и на дне, которые слабо подвергаются солнечному нагреву.

Чтобы лучше понять природу потока тепловой энергии, выходящей на поверхность вулканической постройки, необходимо измерить глубинные перепады температур, то есть геотермический градиент, выражающийся в $^{\circ}\text{C}/\text{км}$, и коэффициент теплопроводности, выражающийся в $\text{мВт}/\text{м}\cdot\text{C}$. Произведение этих двух значений позволяет узнать плотность теплового потока на единицу площади (в $\text{Вт}/\text{м}^2$).

Обычно геотермический градиент измеряется чаще всего в буровых скважинах (горнопромышленных или нефтяных) при помощи геотермического зонда, который дает показания с точностью более чем до одной десятой градуса. При этом обычно делают несколько десятков замеров температур на разной глубине, чтобы получить устойчивый температурный градиент, чтобы сделать замеры с точностью выше одной десятой.

Для того чтобы исключить температурное искажение в недрах

вулканической постройки, которое не имеет отношения к глубинной тепловой энергии, геотермический градиент необходимо рассчитывать на основе замеров температур, сделанных на глубине более 300 метров. Проведенными исследованиями установлено, что такие условия обеспечены в районе лаборатории № 2, которая заглублена в гору Андырчи на 4100 метров.

Выше показано, что здесь показатель температурного градиента становится устойчивым в течение длительного периода времени, а это значит, что полученные замеры теплопроводности можно считать соответствующими глубинным замерам, необходимым для получения устойчивого значения потока тепловой энергии.

В практике полевых исследований в районе, где проводятся замеры, чаще всего подготавливают несколько буровых скважин, находящихся в непосредственной близости друг от друга, и в этом случае фиксируется среднее значение всех расчетов. К сожалению, в районе Эльбрусского вулканического центра имеется только одна глубокая скважина, которая в настоящее время находится в аварийном состоянии, и несколько мелких скважин в районе верховьев р. Кубань, которые мы планируем использовать в последующих экспериментах.

Таким образом, проводя измерения в глубокой штольне под горой Андырчи в зоне, где отсутствует вытяжная вентиляция, можно исключить многие источники изменения потока тепловой энергии, а полученный сигнал считать оптимальным показателем теплового режима земной коры в районе Эльбрусского вулканического центра.

Другим направлением, позволяющим составить представление о поверхностных температурах в районе вулканической постройки, является технология измерения температур в высокогорных районах Эльбрусского вулканического центра. Обратимся к некоторым материалам, полученным при проведении экспедиции на вулканическую постройку в 2007 году.

Техника проведения экспериментальных работ на озере в районе ледника Малый Азау на вулканической постройке Эльбруса сводилась к следующему.

Размеры озера на момент посещения составляли по большой оси 470,0 метров, а по малой оси – 180,0 метров.

Размеры озера, которое появилось еще в 2002 году, в течение года меняются в зависимости от температурного режима в районе ледника. Зимой озеро замерзает.

Однако толщина льда не превышает 10-12 мм, при температурах окружающего воздуха, снижающихся в зимний период до величины -30°C и более.

При этом площадь зеркала не претерпевает каких-либо существенных изменений, что свидетельствует о продолжении таяния ледника Малый Азау (который расположен в районе обнаруженной тепловой аномалии № 3) и в зимние месяцы.



Рисунок 94 - Вид на озеро со стороны ледника Малый Азау. На заднем плане Главный Кавказский хребет. Черным кругом отмечен район поступления талых вод, серым – не большой ручей, вытекающий из озера. Черной линией показано место укладки температурной косы, которая располагалась вдоль западного берега озера.



Рисунок 95 - Вид на отступающий ледник. За год ледник отступил на 27 метров. На переднем плане палатка экспедиции. Здесь размещался измерительный логгер.



Рисунок 96 - Выход температурной косы из озера на берег.



Рисунок 97 - Схема размещения тепловой косы вдоль берега озера.

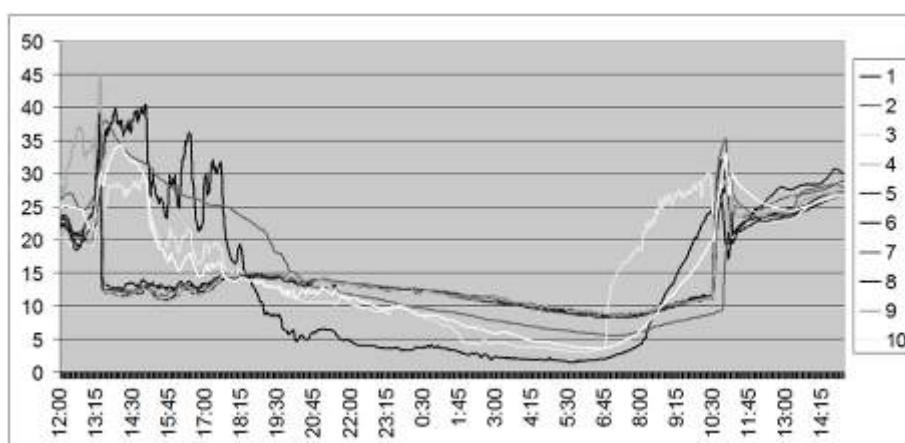


Рисунок 98 - Результаты наблюдений температурного режима в районе озера при помощи тепловой косы.

Отметим еще одно наблюдение, которое было сделано в процессе проводимого эксперимента. От языка ледника в озеро вода поступает тремя

потоками, которые к середине дня резко увеличивают свою интенсивность. Ближе к ночи интенсивность поступления воды в озеро уменьшается. Баланс воды только частично регулируется вытекающим ручьем. Наблюдения показывают, что часть воды испаряется, а какая-то часть просачивается через трещиноватые структуры вглубь вулканической постройки. В зимнее время вытекающий ручей замерзает, и общий баланс воды в озере регулируется только за счет фильтрационных свойств подстилающих геологических структур, слагающих вулканическую постройку Эльбруса.

1.3.4 Экспериментальная оценка температур в области магматической камеры вулкана Эльбрус

Среди тепловых аномалий Северного Кавказа на первый план выступает район Эльбрусского вулканического центра. И это не случайно, так как Эльбрус по определению является действующим вулканом в состоянии покоя [23, 24]. Работами российских ученых установлено, что периферический и материнский магматические очаги вулкана располагаются на глубинах 0-7 и 20-30 км ниже уровня моря соответственно [25, 26, 27].

В ряде научных публикаций последних лет делались попытки определить температуру магм в магматическом очаге и магматической камере вулкана Эльбрус. Проявленный интерес к этой задаче в первую очередь связан с тем, что большинство геолого-геофизических процессов, связанных с формированием жизненного цикла активных вулканических центров, определяются магматическими образованиями. Эти работы опирались в основном на данные, которые были получены с использованием «химических» термометров, точность которых не велика. Установлено, что влияние существенного температурного воздействия корневой системы вулкана на окружающую ее среду находит отражение и в температурном режиме углекислых минеральных вод (УМВ) [23, 27, 28, 29].

Сегодня уточнение теплофизических параметров, местоположения

магматического очага и магматической камеры в районе Эльбрусского вулканического центра, является первоочередной задачей не только с точки зрения теоретического изучения вулкана Эльбрус, но и крайне важной с практической точки зрения. Чем точнее наши данные о положении магматических образований и их температуре, тем более точно можно просчитать тепловые запасы Эльбрусского вулканического центра, что в свою очередь позволяет ставить вопрос об использовании нетрадиционных источников энергии в народном хозяйстве республики Кабардино-Балкария. Обладая громадным энергетическим потенциалом, магматические структуры могут обеспечить широкое развитие электростанций и систем геотермального теплоснабжения.

В общем случае определение температур в недрах вулкана связано с решением обратных задач теплопроводности. Принимая во внимание, что тепло в теле вулканической постройки распространяется преимущественно кондуктивным теплопереносом и располагая данными о коэффициентах теплопроводности пород составляющих вулканическую постройку мы имеем возможность такие расчеты выполнить. Для этого необходимо экспериментальными методами выполнить измерения градиента температур ниже горизонта влияния климатических циклов изменения температур (~20-30 м.).

Основная проблема, которая возникает при измерении температурного градиента в районе вулканической постройки, - необходимость бурения опытных скважин глубиной более 60 метров. Ученые не имели достаточных финансовых средств, чтобы выполнить подобные буровые работы на вулканической постройке. И только в 2009 году сотрудникам Учреждения Российской академии наук из Института географии РАН удалось пробурить скважину 6 сентября 2009 г. было успешно завершено глубокое керновое бурение ледника на Западном плато Эльбруса. Эти работы проводились Институтом географии РАН в рамках Международного полярного года. Главная задача исследований, начатых в 2004 г., заключалась в реконструкции

климатических изменений на Кавказе и создании основы для построения комплексной палеоклиматической хронологии для умеренных широт Северного полушария.

Западное ледниковое плато Эльбруса - это единственный обширный (около 0,5 км²) субгоризонтальный участок на ледниковой поверхности Эльбруса, расположенный выше 5000 м. Плато представляет собой верхнюю часть области питания ледников Большой Азау и Кюкюртлю. На западе оно обрывается в сторону ледника Кюкюртлю вертикальными стенами и ледовыми сбросами, на востоке ограничено западной вершиной Эльбруса, а с северо-запада и юго-востока - крутыми скальными гребнями. С запада плато открыто для влагонесущих воздушных масс и получает осадки из свободной атмосферы, которые выпадают круглый год в виде снега.

Наиболее интересным результатом бурения стало обнаружение 40-сантиметрового прослоя пирокластического материала на глубине 107,27 м. Этот прослой, имеющий в разрезе чёткую верхнюю границу, может соответствовать последнему выбросу тефры одним из кратеров Эльбруса. Другим важным результатом стал температурный профиль в глубокой скважине, на котором температура от поверхности до глубины 110 м меняется в диапазоне от -19 до -15 °С, а ниже этого уровня начинает резко повышаться с глубиной, достигая у ложа температуры -2 °С.

На завершающем этапе комплекс буровых работ был дополнен измерениями температуры фирна и льда в скважине. Температура в скважине измерялась в процессе проведения натурного эксперимента при помощи термистора.

Точность определения температуры по глубине не ниже 0,1°С. Результаты измерений представлены на рисунок 98.

Координаты точки бурения - 43°20'53,9" с.ш. и 42°25'36,0" в.д., абсолютная высота поверхности ледника 5115 м над уровнем моря (рисунок 99). Было проведено бурение до ложа ледника, находящегося на глубине 181,80 м.

В работах на Западном плато вулканической постройки Эльбруса принимали участие А.А. Абрамов, М.Н. Иванов, М.Г. Кунахович, А.С. Кутузов, С.С. Кутузов, И.И. Лаврентьев, В.Н. Михаленко, С.А. Марченко, В.И. Окопный, К.Е. Смирнов, А.В. Шишков.

Благодаря работам доктора географических наук В.Н. Михаленко и его коллектива сегодня впервые появилась возможность использовать данные о градиенте температур в толще льда при экспериментальной оценке температур в области магматической камеры вулкана Эльбрус.



Рисунок 99 - Место бурения льда.

В связи с некоторой неопределенностью в однозначном определении линейного участка (рисунок 99) ниже рассчитаны два предельных градиента (наименьший из возможных и наибольший).

Закон Фурье:

$$q = -\lambda \text{grad} T$$

В нашем случае он может быть использован для расчета теплового потока следующим образом:

$$q = -\lambda \frac{T_1 - T_2}{\Delta l} \frac{Bm}{m^2},$$

где

T_1 – температура в верхней части линейного участка температур ($^{\circ}\text{C}$).

T_2 – температура в нижней части линейного участка температур ($^{\circ}\text{C}$).

Δl – длина этого участка (м).

λ – коэффициент теплопроводности льда ($\text{Вт/м}\cdot\text{К}$).

q – плотность теплового потока (Вт/м^2).

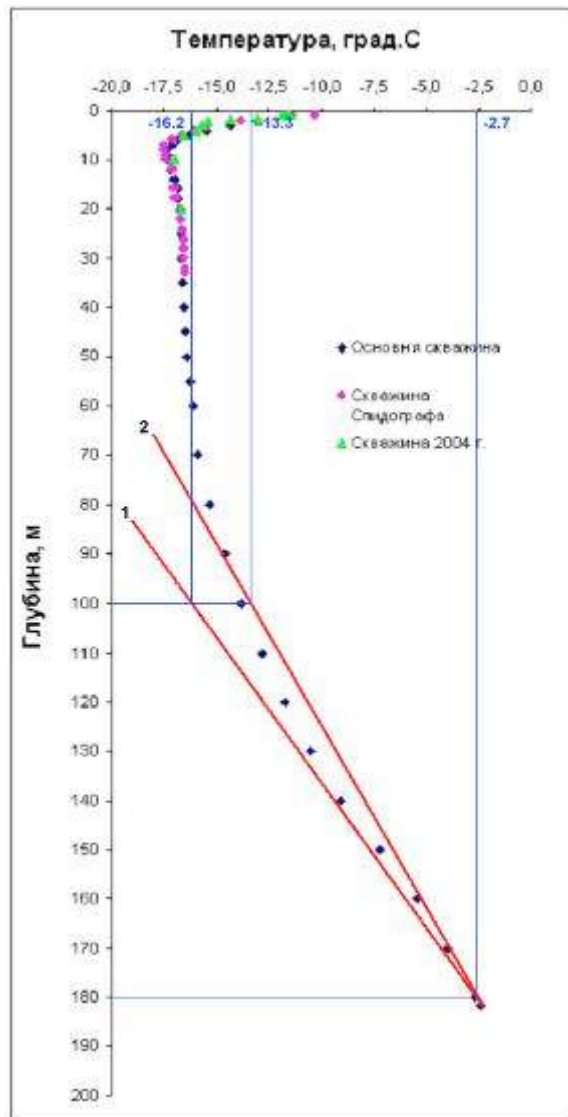


Рисунок 100 - Результат измерения температур в скважине по данным Михаленко В.Н. Цифрами 1 и 2 обозначены предельно возможные градиенты температур. 1- наибольший градиент, 2 – наименьший градиент.

Используя данные натурного эксперимента и подставляя значения предельных температур в приведенное выражение, получим:

1. $\text{grad}T_1=0.133 \text{ К/м.}$

2. $\text{grad}T_2=0.169 \text{ K/м.}$

Учитывая, что коэффициент теплопроводности для льда в диапазоне температур 0-20°C соответствует $\lambda=2.25 \text{ Вт/мК}$, получаем, что величина теплового потока в исследуемом районе вулканической постройки находится в пределах 300-380 мВт/мК.

Размеры и положение магматической камеры и магматического очага вулкана Эльбрус были изучены в работах Собисевича А.Л. [30]. Здесь впервые удалось установить, что магматическая камера вулкана Эльбрус, приуроченная к западной периферии материнского магматического очага и располагается выше последнего на 10-12 км, при активном зондировании генерирует наведенные волновые структуры на резонансных частотах. Из материнского очага в камеру поставка магматического материала осуществляется вдоль ослабленных зон, к числу которых относится и ослабленная (пограничная) зона западного окончания Транскавказского поперечного поднятия. [31]. Сегодня большинство исследователей, считают, что верхняя граница магматического очага вулкана Эльбрус находится примерно на уровне моря. В этой связи можно принять, что расстояние от забоя скважины до верхней границы магматического очага (толщина застывших лав), в точке составляет 4930 м.

Зная положение магматической камеры и оценивая значения коэффициента теплопроводности геологических структур вулканической постройки Эльбруса величиной $\lambda=2.1 \text{ Вт/мК}$ по Федотову [32], оценим температуру в районе верхней границы магматической камеры:

1. $\text{grad}T_1=0.143 \text{ K/м, } T_{\text{очн}}=703 \text{ }^\circ\text{C}$

2. $\text{grad}T_2=0.181 \text{ K/м, } T_{\text{очн}}=890 \text{ }^\circ\text{C}$

Таким образом, используя данные бурения, представилось возможным впервые на базе полученных глубоководных измерений теплового потока установить, что магматическая камера Эльбруса разогрета несколько выше температуры 700°C . Полученный результат еще раз подтверждает наличие в основании вулканической постройки Эльбруса магматической камеры, которая

заполнена жидкой магмой. Отметим, что эти данные находятся в хорошем согласии с результатами для вулканов Камчатки.

1.3.5 Комплексный мониторинг состояния литосферы сейсмоактивных и вулканопасных регионов Северного Кавказа на основе высокоточных GPS/ГЛОНАСС наблюдений

Работы по затронутой проблеме проводятся авторским коллективом совместно с учеными ГАИШ МГУ. Получены ряды режимных наблюдений спутников GPS / ГЛОНАСС на действующих стационарных станциях Северокавказской региональной сети: «Терскол» (код станции TRSK), «Кисловодск» (код станции KISL) и «Владикавказ» (код станции VLAD). Станции TRSK и KISL включены в Государственную службу времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ).

Таблица 9 - Значения компонент скоростей и горизонтальные векторы скорости относительно системы ITRF2005 для стационарных станций Северокавказской сети NDCA.

Станция	Скорость (мм/год)			Горизонтальная составляющая (мм/г)	Азимут (град.)
	E	N	U		
TRSK	23,0±0,3	14,6±0,1	8,4±0,2	27,3±0,3	57,5
KISL	23,5±0,3	16,3±0,2	23,6±0,4	28,6±0,3	55,3
ZECK	25,3±0,2	11,7±0,1	1,6±0,4	27,9±0,2	65,2
VLAD	25,7±1,4	14,5±0,9	-3,6±2,4	29,5±1,4	60,6
MDVJ	22,5±0,2	11,8±0,1	0,2±0,4	25,1±0,2	62,4

На основании результатов наблюдений впервые получены оценки поля скоростей Северо-Кавказского региона. Анализ GPS данных указанных станций проводился с помощью пакета программ BERNESSE 5.0. В процессе анализа определялись два параметра линейного дрейфа и параметры годовой и

полугодовой волн для каждой станции.

Оценки скоростей проводились относительно системы ITRF2005.

В таблице 9 приведены полученные оценки скоростей для 4- станций Северо-Кавказского деформационного вектора, включая опорную станцию ZECK. Как следует из таблицы, среднеквадратические погрешности оценок компонент скоростей для опорной и новых станций сравнимы (за исключением станции VLAD, в виду непродолжительности наблюдений на ней), что говорит о высоком качестве наблюдений на новых станциях и правильной выбранной стратегии обработки данных.

Характерным аспектом поля скоростей Северного Кавказа, полученного по данным станций NDCA, является быстрое горизонтальное движение в северо-восточном направлении практически с одинаковыми скоростями, около 28 мм/год (рисунок 100).

Горизонтальное движение опорной станции MDVJ (Менделеево), расположенной в Московской области и входящей в международную сеть, характеризуется похожей скоростью (~25 мм/год) в том же направлении. Это может означать, что современное движение Северного Кавказа в основном определяется общим тектоническим движением Евразийской платформы относительно ITRF.

В то же время анализ выявил избыточное NE движение Северного Кавказа относительно Евразийской платформы со скоростью 3-4 мм/год. Станции Северо-Кавказской сети расположены в подвижном Альпийско-Гималайском тектоническом поясе, связанном с взаимодействием больших тектонических формаций: Евразийской, Арабской и Африканской литосферных плит.

Эта коллизионная зона характеризуется высокой раздробленностью коры, сложной разломо-блоковой структурой, сдвиговыми движениями. Очевидно, избыточные скорости отражают активную тектонику этого региона.

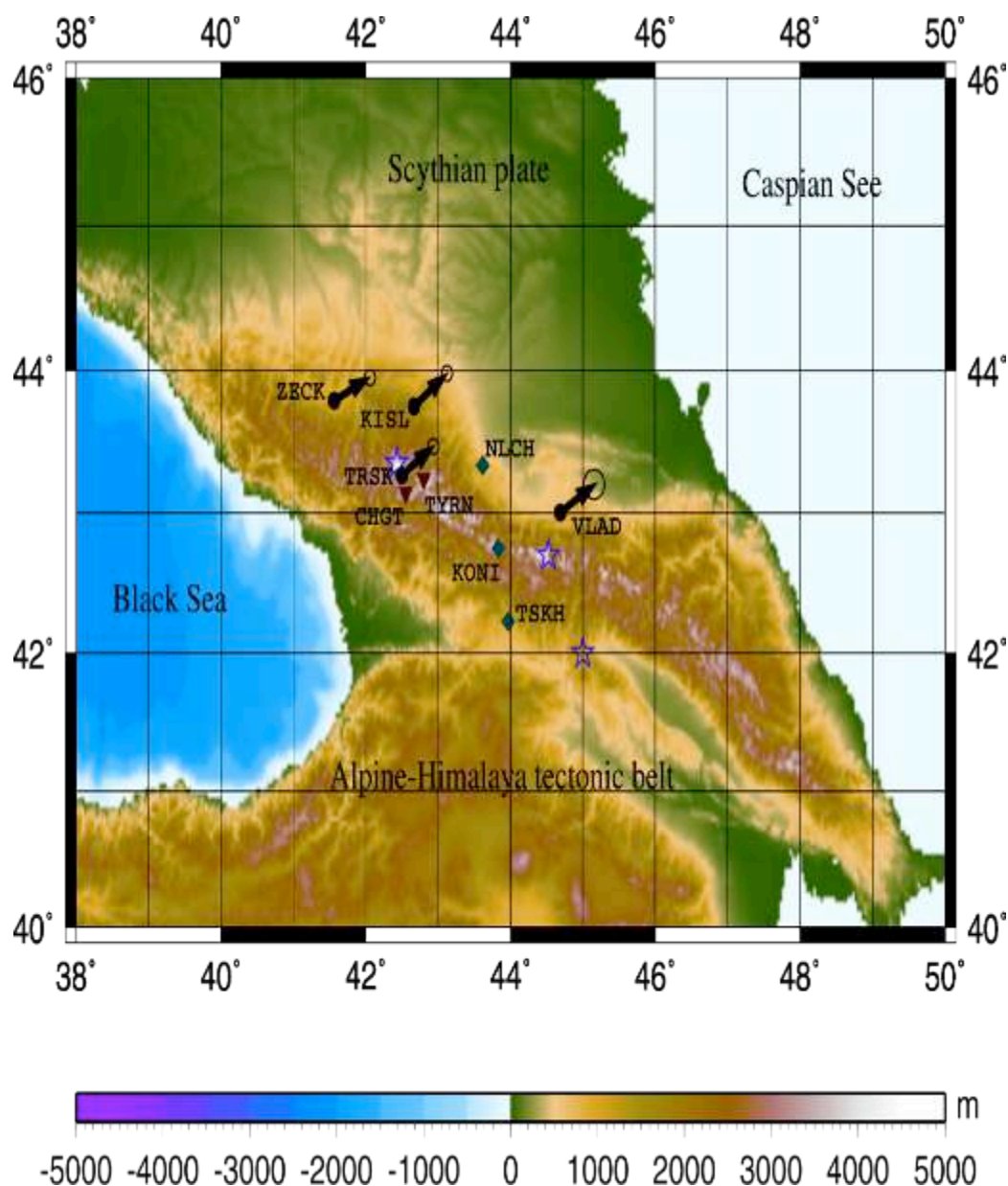


Рисунок 101 - Карта GPS скоростей станций (ZECK, TRSK, KISL, VALD) Северокавказского региона (NCDA) относительно системы ITRF2005 и эллипсы ошибок 1σ . TRSK, CHGT and TYRN – три точки GPS кампании по проекту WEGENER в 1993 и 1994 г.г. Нальчик и Кони и Цхинвал – планируемые новые станции сети NCDA.

1.3.6 Создание сети пунктов повторных измерений абсолютных значений силы тяжести в Северокавказском регионе

Абсолютная гравиметрия на Северном Кавказе была основана в 1994 г. в рамках международного проекта SELF. В 1994 г. совместно со специалистами института IFAG (Германия) в Баксанской подземной обсерватории ГАИШ и Зеленчукском филиале Института прикладной астрономии РАН были заложены

абсолютные гравиметрические пункты баллистическим гравиметром FG5 № 101.

В настоящее время повторные измерения абсолютных значений силы тяжести на существующих пунктах и закладка новых проводится в рамках договора совместно с ЦНИИГАИК баллистическими гравиметрами FG5 №110 и ГАБЛ.

В 2007 г., спустя 13 лет, были проведены повторные измерений абсолютного значения силы тяжести на пунктах «Зеленчукская» и «ГАИШ МГУ».

В 2008 г. были выполнены повторные измерения на пункте «ГАИШ МГУ» (подземная лаборатория) и заложены два новых пункта в Приэльбрусье: у подножия вулканической постройки Эльбруса (Гляциологическая станция МГУ) и на пике Терскол (Международная астрономическая обсерватория, высота 3100 м) – «Терскол».

В текущем году проведены повторные измерения абсолютного значения силы тяжести на пунктах «Азау» и «Зеленчукская».

Заложены три новых пункта в Северо-Кавказском регионе: «Нальчик», Лаборатория №3 Северокавказской геофизической обсерватории (КБГУ, Нальчик, Кабардино-Балкария), «Владикавказ» (Центр геофизических исследований ВНИЦ РАН, Владикавказ, Северная Осетия), «Ардон» (Сейсмостанция Геофизической службы РАН, Ардон, Северная Осетия).

Таким образом, сеть пунктов повторных измерений абсолютных значений силы тяжести в Северо-Кавказском регионе покрывает территории трех республик: Карачаево-Черкессия, Кабардино-Балкарию и Северную Осетию, и состоит в настоящее время из семи пунктов - «Зеленчукская», «ГАИШ МГУ», «Азау», «Терскол», «Нальчик», «Владикавказ», «Ардон».

Результаты измерений абсолютного значения силы тяжести на гравиметрических пунктах Северного Кавказа приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Результаты измерений абсолютного значения силы тяжести на пунктах Северного Кавказа (результаты наблюдений 2009 г. требуют обработки, поэтому приведены только последние цифры измерений).

Определяемые пункты	Прибор	Дата	Значения силы тяжести, мкГал
Зеленчукская	FG5 101	07.94 г.	(980 249 139,3 \pm 2,6) мкГал
Зеленчукская	FG5 110	06.07.07 г.	(980 249 133,7 \pm 1,7) мкГал
Зеленчукская	ГАБЛ-мини	09.10.09 г.	(--- --- 531,1 \pm 1,2) мкГал
БС ГАИШ	FG5 101	07.94 г.	(979 909 680,8 \pm 4,0) мкГал
БС ГАИШ	FG5 110	8-09.07.07 г.	(979 909 668,2 \pm 1,9) мкГал
БС ГАИШ	FG5 110	8-10.06.08 г.	(979 909 666,7 \pm 1,9) мкГал
Терскол	FG5 110	24-25.06.08	(979 672 002,5 \pm 1,9) мкГал
Азау	FG5 110	6-8.06.08 г	(979 824 406,04 \pm 1,9) мкГал
Азау	ГАБЛ-мини	11.10.09	(--- --- 780,3 \pm 1,2) мкГал
Нальчик	ГАБЛ-мини	12.10.09	(--- --- 591,2 \pm 2,0) мкГал
Ардон	ГАБЛ-мини	13.10.09	(--- --- 668,5 \pm 0,7) мкГал
Владикавказ	ГАБЛ-мини	14.10.09	(--- --- 828,8 \pm 1,7) мкГал

Проведенные уникальные измерения силы тяжести и полученные данные будут востребованы при проведении дальнейших исследований в регионе.

Таким образом, заканчивая обсуждение первого этапа работ по обоснованию рационального комплекта стационарных и мобильных информационно-измерительных систем, обеспечивающих оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе на основании измерения флуктуаций геофизических полей в районе вулканической постройки на базе (КГФИИС КБГУ), отметим следующее:

- процесс развертывания специализированных полномасштабных геофизических лабораторий происходил на основе создания специализированных аппаратурных стационарных комплексов, которые по мере выполнения проекта дополнялись мобильными информационно-измерительными системами. Ряд приборов авторы проекта были вынуждены арендовать в других научных организациях на время проведения полевых работ.

Получаемые в процессе выполнения НИР экспериментальные данные были дополнены результатами теоретических исследований. Такой подход позволил составить обоснованное представление о необходимой аппаратуре и (в рамках доступных финансовых средств) перейти к развертыванию вокруг вулкана Эльбрус информационно-измерительных систем, обеспечивающих оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе на основании измерения флюктуаций геофизических полей (на базе уже модифицированной КГФИИС КБГУ).

Глава 2 Развертывание информационно-измерительных систем, обеспечивающих оперативный контроль состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе на основании измерения флюктуаций геофизических полей на базе КГФИИС КБГУ

2.1 О возможности создания мобильной сейсмической линейной группы в районе Эльбрусского вулканического центра. Результаты наблюдений

При изучении глубинного строения геологической среды в районе Эльбрусского вулканического центра мы использовали данные по наведенным волновым процессам, которые обусловлены удаленными землетрясениями [33]. Удаленные землетрясения всегда возбуждают резонансные неоднородности в теле вулканической постройки, что позволяет при расшифровке деформометрических данных выйти на определение характерных размеров магматического очага и магматической камеры.

В ряде случаев эти параметры удастся получить, используя другие технологии зондирования глубинных структур в районе вулканической постройки. Так при изучении внутреннего строения грязевых вулканов в районе Таманской грязевулканической провинции нами впервые были использованы методы активной сейсмологии, активно развиваемые учеными СО РАН [34].

В последнее время все больше внимания стало уделяться нетрадиционным методам исследования внутреннего строения геологической среды. Они основаны на новом представлении о внутренней структуре сложно построенной и флюидонасыщенной геологической среде, которые проявляются в ее физических свойствах. Здесь в первую очередь следует выделить такие свойства как сейсмическая и электромагнитная активность, которые проявляются в постоянной генерации сейсмических и электромагнитных возмущений. Развиваемая в настоящее время концепция активности

геофизической среды в корне меняет представления о ее свойствах и открывает широкие возможности для построения новых технологий изучения внутренней структуры литосферы. Использование сейсмической и электромагнитной эмиссии (эндогенного сейсмического и магнитного шума) в качестве информационного поля позволило А.В. Горбатикову из ИФЗ РАН создать технологию зондирования геологической среды на рэлеевских волнах [35]. Ее применение позволяет получить новую информацию о строении геологической среды и протекающих в ней процессах.

Следующее, развиваемое научное направление, связано с сейсмоэмиссионным процессом, в котором удастся различить сейсмические сигналы, соответствующие отдельным локальным актам – местным микроземлетрясениям и криповым подвижкам в зонах развитых дилатансных структур, занимающих значительные объемы геологической среды. В процессе своего развития, эти отдельные спонтанно возникающие события создают сейсмический фон в районе Эльбрусской вулканической области, интенсивность которого зависит от общего напряженного состояния, как отдельных локальных образований геологической среды, так и от пространственно-временных градиентов напряжений в отдельных зонах дилатансных образований. Здесь важно отметить, что ярко выраженное локальное мелкомасштабное событие ведет к локальному сбросу напряжений, генерируя при этом геофизические поля, а весь процесс в целом иллюстрирует реальную «жизнь» геологической среды в вулканической области. Сейсмическая эмиссия сложно построенных геологических структур – новый класс информативных сейсмических явлений, которые сегодня востребованы научной общественностью и широко используются при создании новых технологий зондирования литосферы. Методы изучения земной коры, основанные на использовании естественной и наведенной сейсмической эмиссии, объединены сегодня общим названием «эмиссионная томография». Этого названия мы и будем в дальнейшем придерживаться.

Эмиссионная томография позволяет картировать источники

микросейсмического излучения, находящиеся во внутренних точках геологической среды. В современных эмиссионных технологиях применяются методы, аналогичные методам пеленгации и локации источников шума в радиофизике и гидроакустике, а именно: используется группа расположенных на поверхности или заглубленных в геологическую среду сейсмических приемников, которые и составляют сейсмическую антенну. При помощи таких антенн регистрируется волновое поле микросейсмического излучения в некоторой исследуемой области. При этом сейсмическая антенна фокусируется последовательно в заданных точках исследуемого объема с целью получения данных для последующего изучения структуры сигнала и оценки энергетического излучения из выбранной точки, затем строится пространственное распределение изучаемых параметров.

Проведенными исследованиями установлено, что использование непрерывного эндогенного излучения в технологиях эмиссионной томографии для исследования структуры и динамики вулканических образований имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной трансмиссионной (т.е. на проникающих лучах) томографией, основанной на использовании времен пробега проходящих через исследуемый объем геологической среды сейсмических волн от искусственных источников и землетрясений. Развиваемые сегодня в рамках метода технологии зондирования достаточно эффективны и весьма просты в аппаратном и математическом обеспечении. Важно то, что эти технологии не требуют длительной регистрации и применения дополнительного источника зондирующего сигнала. В исследованиях используется постоянно существующее поле микросейсмических колебаний.

Применение развиваемого метода возможно повсеместно, а не только в сейсмоактивных районах. В условиях отсутствия локальной сейсмичности эмиссия представляет собой уникальный источник информации о внутреннем строении геологической среды и ее динамических особенностях.

Первые успехи, полученные в геофизике с использованием методов

эмиссионной томографии, отражены в ряде пионерских работ российских исследователей. В их числе:

- результаты работ, связанные с построением сейсмозмиссионного изображения литосферы под группой NORSAR [36];

- результаты, полученные в рамках Советско-Исландской геолого-геофизической экспедиции в 1988-1989 гг. на севере Исландии под руководством Л.Н. Рыкунова [37, 38];

- исследования российскими и японскими учеными шумового сейсмического поля в районе вулканического фронта на о. Хонсю [39];

- работы по шумовому мониторингу, в которых впервые было зафиксировано возрастание сейсмозмиссионной активности в очаговых зонах в период подготовки землетрясений [40];

- работы группы ученых ИФЗ РАН по изучению внутреннего строения вулканов на Канарских островах, в Таманской грязевулканической провинции.

В настоящее время сейсмозмиссионная томография еще очень молодая и находится в стадии становления. Поэтому необходимо проведение наблюдений и исследований эндогенного микросейсмического излучения на конкретных геологических объектах различной природы, о которых уже имеется независимая информация, полученная с применением других методов.

Природные условия Северного Кавказа позволяют провести наблюдения сейсмической эмиссии в различных активных областях, связанных с проявлениями вулканизма и сейсмичности в этом регионе. Изученность ряда природных объектов Северного Кавказа достаточно высокая и предполагает возможность сопоставления имеющихся данных с результатами проведения работ по эмиссионной томографии. Речь идет в первую очередь о вулканических постройках и гидротермальных системах.

В данном разделе отчета приведены первые результаты наших исследований в районе Эльбрусского вулканического центра, проведенных летом 2010 года при помощи технологий, использующихся в

сейсмозмиссионной томографии. В числе этих технологий на первый план выступает весьма прогрессивный метод А.В. Горбатикова, примыкающий вплотную к этому научному направлению в сейсмологии, но имеющий свои характерные отличия. Его использование помогло расшифровке получаемой экспериментально сейсмологической информации, отражающей реальные геофизические процессы в районе Эльбрусской вулканической области.

2.1.1 Работы по развертыванию протяженных сейсмических антенн в подземных выработках Баксанской нейтринной лаборатории ИЯИ РАН

Проведенное нами изучение вспомогательной штольни Баксанской нейтринной обсерватории показало, что она является идеальным местом для развертывания линейной сейсмической антенны. Штольня в настоящее время практически не эксплуатируется. По ходу в штольне имеются объемные боковые вырубки в коренных породах, которые при минимальных финансовых затратах могут быть приспособлены для размещения сейсмических приемников любого класса. Выполненные нами ориентировочные оценки разработки подземного проекта и создания здесь такой уникальной информационно-измерительной системы показывают, что для этого необходимо получить не менее 30,0 млн. рублей.

По причине полного отсутствия финансовых средств, требуемых на закупку дорогостоящего сейсмического оборудования, на первом этапе было принято решение о развертывании здесь двух мобильных антенных групп на базе временного использования (безвозмездной аренды) существующих сейсмических приемников, принадлежащих институтам РАН. К участию в проекте кроме ученых из Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта, у которых имеются длиннопериодные сейсмические приемники типа СМ-ЗКВ, были приглашены ученые из Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, располагающие автономными сейсмическими системами звукового диапазона. Такой подход позволил

провести запланированные эксперименты и получить новые научные знания. Но он не решил проблемы в целом. Необходимость создания в районе Эльбрусского вулканического центра подземной линейной сейсмической антенны не вызывает сомнений и требует постановки ОКР с последующей закупкой специализированного сейсмического оборудования.

2.1.2 Методика эксперимента и построение изображений

Построение изображений глубинных шумовых источников сводится к анализу пространственного распределения их интенсивности, что осуществляется при помощи фокусировки полного волнового поля, зарегистрированного линейной группой сейсмических приемников, во внутренних точках геологической среды при сканировании в заданных сечениях. Для таких целей нами предполагалось использовать процедуры синфазного суммирования с построением энергетических оценок отношения интенсивности регулярной и нерегулярной компонент волнового поля.

Суть метода сводится к оценке энергии слабого когерентного излучения различных точек среды в районе вулканического центра. Этот подход известен и применяется при анализе многоканальных записей волновых полей различной природы, как в сейсмологии, так и в других областях, связанных с обработкой многоканальной информации.

В общем случае регистрируемое под землей волновое поле носит характер случайного процесса, генерируемого множественными источниками в геологической среде. При этом шумы, регистрируемые различными датчиками антенны, некоррелированы. Дело обстоит иначе, если в среде присутствуют ярко выраженные отдельные сейсмические возмущения, обусловленные динамическими процессами в магматических структурах. При появлении в многоканальной записи пространственно-когерентного сигнала при помощи сфазированной линейной сейсмической антенны источник может быть с известной погрешностью локализован и изучен, если учесть, что данные

анализируются путем выделения сигналов, приходящих из определенных точек исследуемого объема среды в районе магматического очага.

Технические процедуры при этом следующие. Вводится временной сдвиг, соответствующий времени прохождения сигнала из опрашиваемой точки до регистрирующего датчика (скоростной разрез или годограф для данного района предполагается известным). Затем участки сигнала суммируются, а полученная сейсмограмма используется для вычисления энергетической оценки, количественно характеризующей интенсивность излучения среды из точки настройки.

Алгоритм основан на аддитивной модели шумового сигнала и шума. Он сводится к следующим процедурам. Пусть в точке пространства с координатами (X_p, Y, Z_k) генерируется сигнал $g_{ijk}(t)$, который регистрируется всеми станциями приемной группы. При этом m -й сейсмометр регистрирует сигнал, где A_{ijkm} учитывает геометрическое расхождение объемных сейсмических волн и угол выхода луча в точке регистрации, t_{jjkm} - время пробега сейсмических волн от данной точки пространства до датчика, $e_m(t)$ - суммарный сейсмический сигнал, имеющий постороннее по отношению к данной точке происхождение и являющийся в данном случае помехой. Задача сводится к сравнительной энергии сигналов $g_{ijk}(t)$, излучаемых различными точками (ij,k) исследуемого объема с использованием набора сейсмограмм $F_m(t)$.

Для реконструкции поля шумового излучения среды в данной работе используется оценка меры подобия сейсмических сигналов S (Semblance) [41]: отношение энергии суммарного по всем датчикам группы сигнала к сумме энергий каждого датчика в отдельности, вычисляемое для каждой опрашиваемой точки под антенной.

Методические аспекты возможного использования шумовых сейсмических полей для экспериментального исследования структурных особенностей среды рассмотрены в работах А.В. Николаева, П.А. Троицкого, И.Я. Чеботаревой [44, 43, 42, 39].

В области Эльбрусского вулканического центра сегодня наблюдаются аномальные сейсмические, геотектонические и геохимические процессы. Все это наряду с высокой неоднородностью и раздробленностью в районе вулканической постройки и на прилегающих территориях предполагает наличие здесь и эмиссионной активности. Немаловажным является и то, что значительная удаленность района г. Нальчика и размещение линейной антенны глубоко под землей гарантирует регистрацию естественного сигнала, не загрязненного антропогенными помехами.

В 2010 году нами был подготовлен полигон для работы с линейной сейсмической группой.

2.1.3 Развертывание протяженных сейсмических антенн в подземных выработках Баксанской нейтринной лаборатории ИЯИ РАН. Методика эксперимента и построение изображений

Итак, анализ пространственного распределения их интенсивности, что осуществляется при помощи фокусировки полного волнового поля, зарегистрированного линейной группой сейсмических приемников, во внутренних точках геологической среды при сканировании в заданных сечениях. Для таких рационально использовать процедуры синфазного суммирования с построением энергетических оценок отношения интенсивности регулярной и нерегулярной компонент волнового поля. Суть метода сводится к оценке энергии слабого когерентного излучения различных точек среды в районе Эльбрусского вулканического центра. Этот подход обычно рекомендуют применять при анализе многоканальных записей волновых процессов различной физической природы, как в сейсмологии, так и в других областях, связанных с обработкой многоканальной информации, получаемой в интересах многодисциплинарного мониторинга.

В нашем случае регистрируемое под землей в штольне волновое поле носит характер случайного процесса, генерируемого множественными

источниками в геологической среде вулканической постройки Эльбруса. При этом, есть все основания полагать, что естественные сейсмические шумы, регистрируемые отдельными датчиками комбинированной (в нашем случае) линейной антенны, некоррелировано. Однако, дело обстоит иначе, если в среде присутствуют ярко выраженные локальные источники сейсмических сигналов. Это могут быть слабые местные землетрясения, вызванные динамическими процессами в теле вулканической постройки Эльбруса или локальные импульсные сигналы, обусловленные горными ударами. При появлении в многоканальной записи пространственно-когерентного сигнала с помощью сфазированной линейной сейсмической антенной источник может быть с известной погрешностью локализован, что позволяет в будущем определить его природу и оценить опасные перестройки геологической среды в изучаемом регионе. Данные анализируются путем выделения характерных сигналов, приходящих из определенных точек исследуемого объема среды в районе магматического очага. Вводится временной сдвиг, соответствующий времени прохождения сигнала из опрашиваемой точки до регистрирующего датчика (скоростной разрез или годограф для данного района предполагается известным). Затем участки сигнала суммируются, и полученная агрегированная сейсмограмма используется для вычисления энергетической оценки, количественно характеризующей интенсивность излучения среды из точки настройки.

Алгоритм основан на аддитивной модели шумового сигнала и шума. Пусть в точке пространства с координатами (X_p, Y, Z_k) генерируется сигнал $g_{ijk}(t)$, который регистрируется всеми станциями приемной группы. При этом m -й сейсмометр регистрирует сигнал, где A_{ijkm} учитывает геометрическое расхождение объемных сейсмических волн и угол выхода луча в точке регистрации, t_{ijkm} - время пробега сейсмических волн от данной точки пространства до датчика, $e_m(t)$ - суммарный сейсмический сигнал, имеющий постороннее по отношению к данной точке происхождение и являющийся в данном случае помехой. Задача сводится к сравнительной энергии сигналов

$g_{ijk}(t)$, излучаемых различными точками (ij,k) исследуемого объема с использованием набора сейсмограмм $F_m(t)$.

Для реконструкции поля шумового излучения среды в данной работе используется оценка меры подобия сейсмических сигналов S (Semblance) [41]: отношение энергии суммарного по всем датчикам группы сигнала к сумме энергий каждого датчика в отдельности, вычисляемое для каждой опрашиваемой точки под антенной.

Методические аспекты возможного использования шумовых сейсмических полей для экспериментального исследования структурных особенностей среды рассмотрены в работах А.В. Николаева, П.А. Троицкого, И.Я. Чеботаревой. В области Эльбрусского вулканического центра сегодня нам удастся наблюдать сейсмические, геотектонические и геохимические процессы. Все это наряду с высокой неоднородностью и раздробленностью геологической среды, как в районе вулканической постройки, так и на прилегающих территориях предполагает наличие здесь и эмиссионной активности. Немаловажным является и то, что значительная удаленность районов с интенсивными техногенными шумовыми геофизическими полями (г. Нальчик и другие крупные населенные пункты) и размещение линейной сейсмической антенны глубоко под землей гарантирует регистрацию естественных полезных сигналов, не загрязненных антропогенными помехами.

Итак, летом 2010 года группой ученых КБГУ, ИВМиМГ СО РАН, ИФЗ РАН и БНО ИЯИ РАН в районе Эльбрусского вулканического центра впервые была развернута и опробована в режиме непрерывной работы линейная сейсмическая антенна протяженностью 2,5км. Она включала 6 трехкомпонентных сейсмометров типа СК-1П с автономными цифровыми регистраторами «Байкал», изготовленными учеными СО РАН. Группа была развернута (согласно данным наших предыдущих работ) непосредственно над магматическим очагом вулкана Эльбрус, в туннеле вспомогательной штольни Баксанской нейтринной обсерватории.

Положение точек регистрации определялось по пикетам разметки на

стенках вспомогательной штольни. Сейсмическая линейная антенна была развернута непосредственно над магматическим очагом вулкана Эльбрус, во вспомогательном туннеле Баксанской нейтринной обсерватории, как показано на рисунке 102.

Расстановка сейсмоприемников равномерная, расстояние между датчиками - 500 м. Сейсмическая группа располагалась от точки на расстоянии 1500 м от входа в штольню (пикет 15+00) до точки 4000 м от входа в штольню (пикет 40+00).



Рисунок 102 - Карта, отражающая структуру сейсмического полигона в районе Эльбрусского вулканического центра. Приведена (красная линия) схема размещения антенной группы под землей во вспомогательной штольне и ее положение относительно вулканической постройки Эльбруса.

Датчики устанавливались на бетонном основании, залитом на коренных породах. Была проведена непрерывная регистрация сейсмических сигналов в течение 2 суток дважды – 14-15 июля и 17-18 июля 2010 г. Данные воспроизводились и обрабатывались в лабораторных условиях.

На первом этапе проведенных экспериментальных работ с развернутой подземной сейсмической группой отрабатывались методические аспекты ведения расчетов с использованием полученных записей с целью определения

характеристик микросейсмических шумов в штольне БНО ИЯИ РАН, их суточных вариаций, проявлений техногенных шумов, связанных с работой подземного комплекса БНО ИЯИ РАН, а также характера региональной сейсмической активности в районе магматического очага вулкана Эльбрус.

Параметры регистрации:

- чувствительность канала автономного сейсмического приемника - 450 В/м/сек
- динамический диапазон - 72 дБ.
- частотный диапазон 1-100 Гц.
- частота дискретизации 200 Гц.

Цифровой регистратор «Байкал» производства ИЛФ СО РАН, представляет собой автономный компьютеризированный комплекс. В составе регистратора имеется 24-разрядный 3-канальный аналогово-цифровой преобразователь. Данные записываются на съемную карту памяти объемом 4 Гбт.

Синхронизация данных натурных наблюдений обеспечивалась наличием внутренних таймеров накопителя, имеющих коррекцию хода от сигналов GPS. Были отработаны методические аспекты ведения многоканальной цифровой регистрации в полевых условиях. Запись велась с частотой дискретизации 200 Гц.

Начальный анализ зарегистрированных геоакустических сигналов, позволил выявить проявление сейсмической активности в Приэльбрусье, начиная от расстояний 2-3 км от сейсмической антенны (магматический очаг и окружающие дилатансные образования в окрестности горы Андырчи), до расстояний 12-20 км (район вулканической постройки Эльбруса). Сейсмическая группа также хорошо регистрирует слабые землетрясения на расстоянии 50 – 100 км, которые происходят в районе Северного Кавказа.

Одновременно работы по регистрации микросейсмического излучения были проведены при помощи мобильных информационно-измерительных систем непосредственно у подножья вулкана Эльбрус и в конце штольни Баксанской нейтринной обсерватории (углубление 4 км 400 метров под гору

Андырчи на высоте 1700м.), где и наблюдаются парогидротермы, расположенные на высоте 1700 м.

Установлено, что главной отличительной особенностью наблюдаемых парогидротерм является двухфазное (пар и вода) состояние теплоносителя в очаге разгрузки. Перегретые воды вскипают на глубине. На уровне вскипания происходит пароотделение, дегазация, резкое падение температуры. Деятельность парогидротерм сопровождается сложными физико-химическими процессами. Ниже зоны вскипания происходит ошелачивание гидротерм, а выше образуется «паровая шапка», в которой идут процессы формирования кислых агрессивных вод. Характер проявления парогидротерм трещинно-жильный, при этом его активная деятельность связана с зонами повышенной тектонической трещиноватости. В настоящее время эти данные обрабатываются.

2.1.4 Результаты экспериментальных работ и их обсуждение

Сегодня в геофизической индустрии сейсмозмиссионной томографии, как одному из методов пассивного сейсмического мониторинга среды, уделяется все большее внимание [45, 46]. Метод применяется для диагностической визуализации гидроразрывов пластов при интенсификации добычи углеводородов и основывается на новейших достижениях в областях разработки средств многоканальной трехкомпонентной широкополосной цифровой регистрации и математического аппарата сейсмозмиссионной томографии (используется адаптивная поляризационная фокусировка волнового поля с применением техники высокого разрешения [25]).

Датчики устанавливались на коренных породах с равными интервалами по ходу вспомогательной штольни (рисунок 103).



Рисунок 103 - Отдельные элементы линейной сейсмической антенны, установленные в штольне. Рядом с трехкомпонентным сейсмометром автономный модуль съема и хранения геоакустической информации.

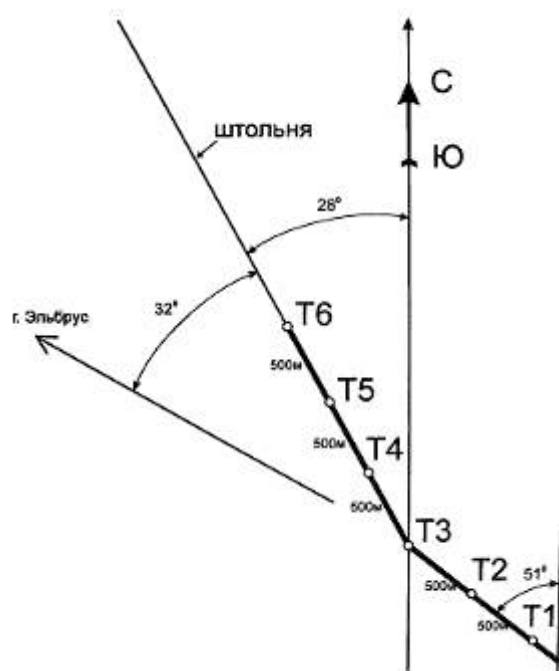


Рисунок 104 - Структура размещения сейсмических приёмников в штольне (T1 – T6 – точки размещения сейсмоприёмников) и ориентация линейной сейсмической антенны.

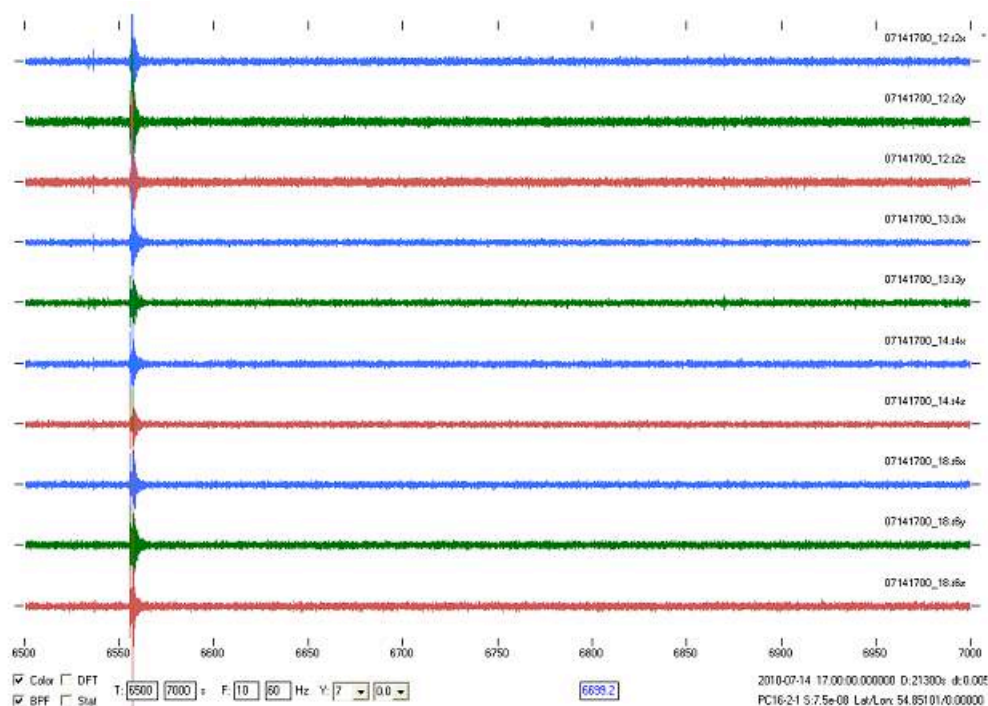
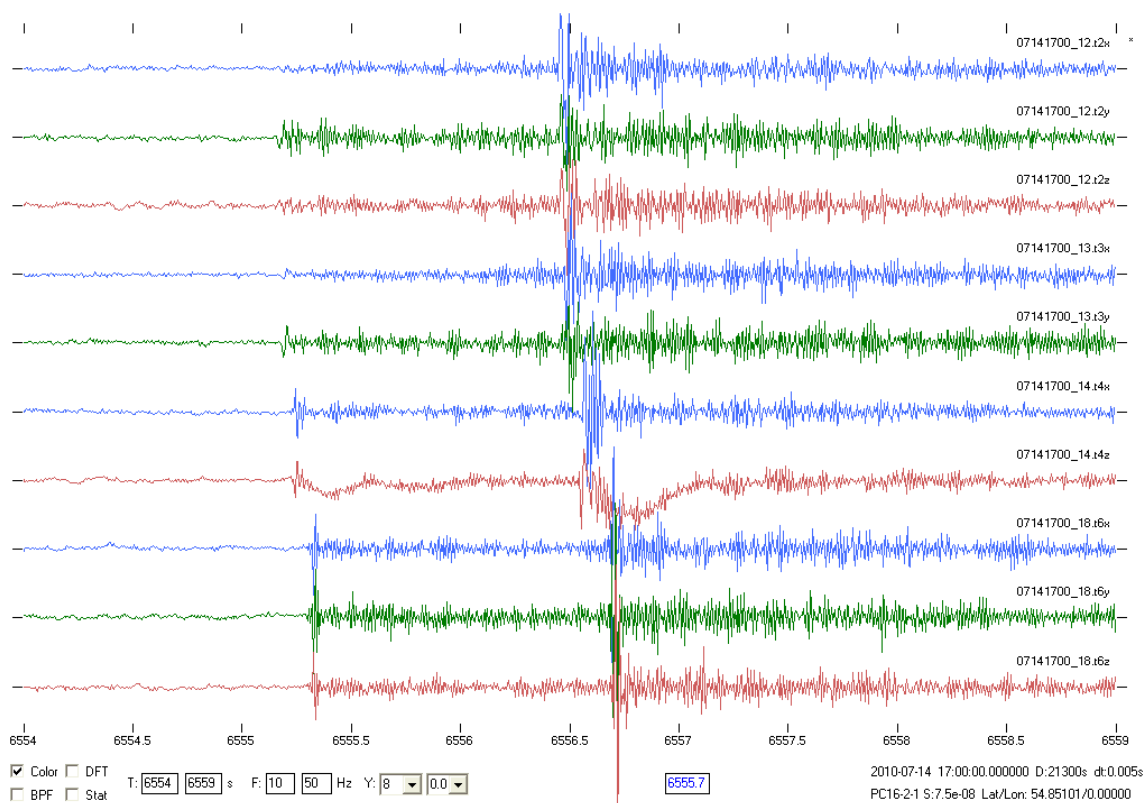


Рисунок 105 - Пример регистрации сейсмического шума и местного землетрясения линейной сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников Т2, Т3, Т4 и Т6. Начало записи: 14 июля 2010 г. в 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания полосового фильтра (F) от 10 до 40 Гц. Частота оцифровки – 200 Гц.



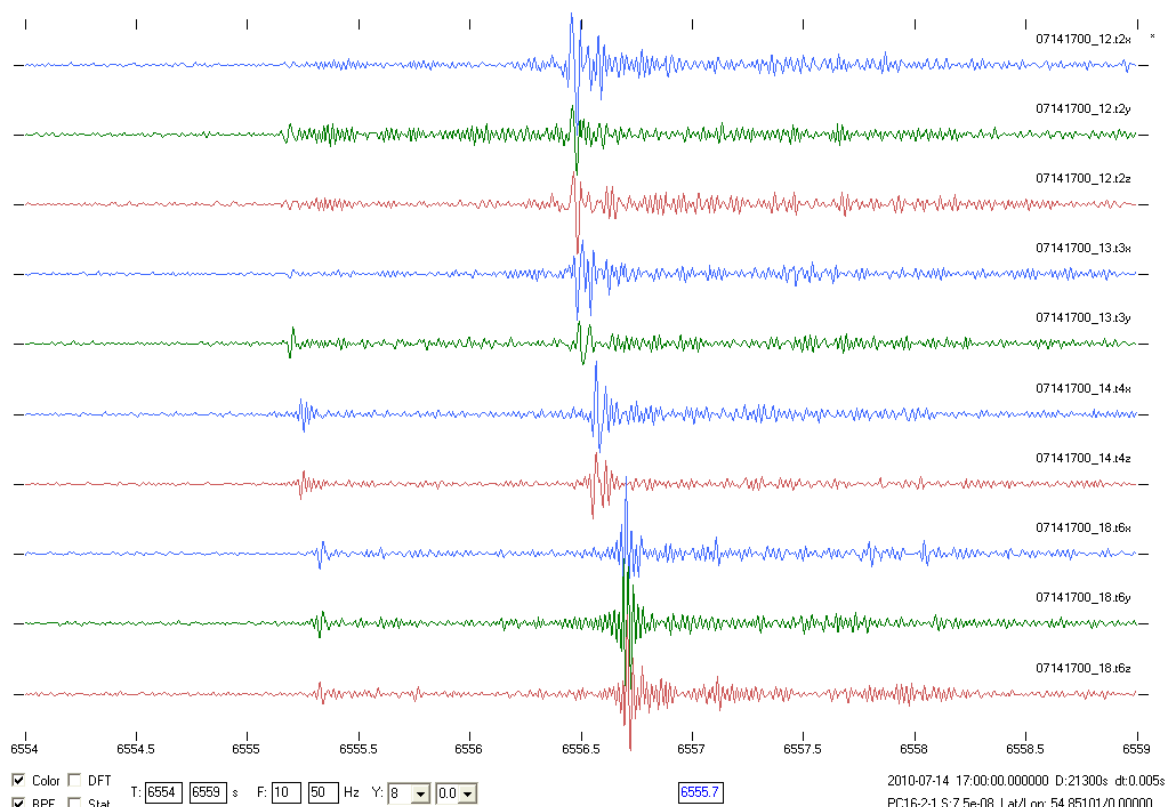
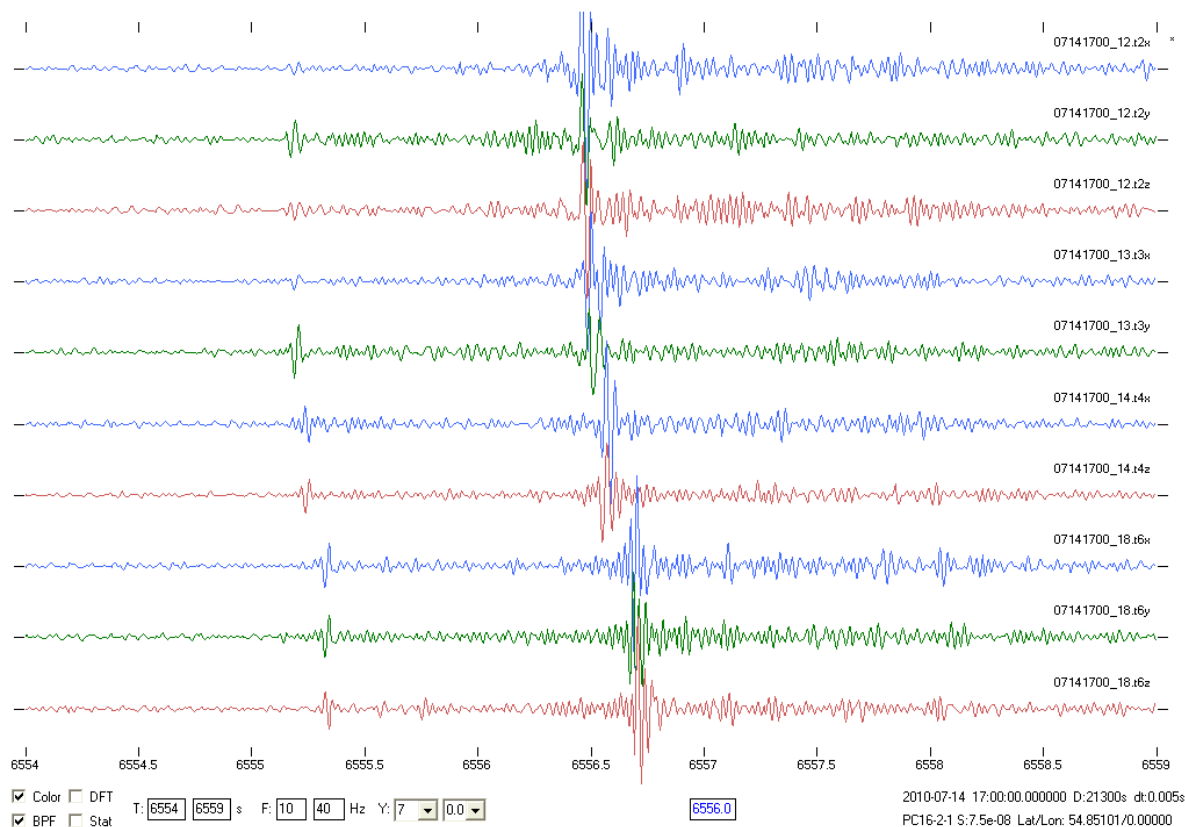


Рисунок 106 - Фрагмент регистрации местного землетрясения сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников Т2, Т3, Т4 и Т6. Начало записи: 14 июля 2010 г. в 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, без фильтрации (вверху) и с полосовым фильтром 10 - 50 Гц (внизу).



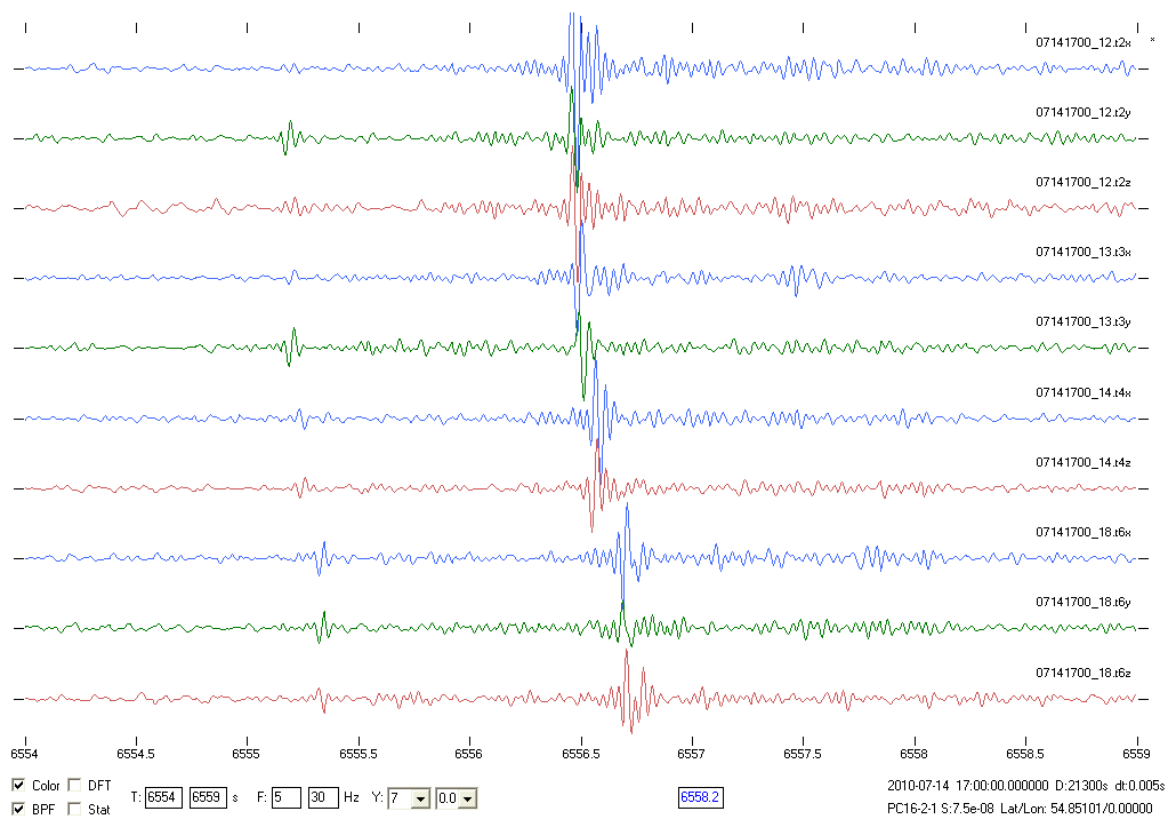
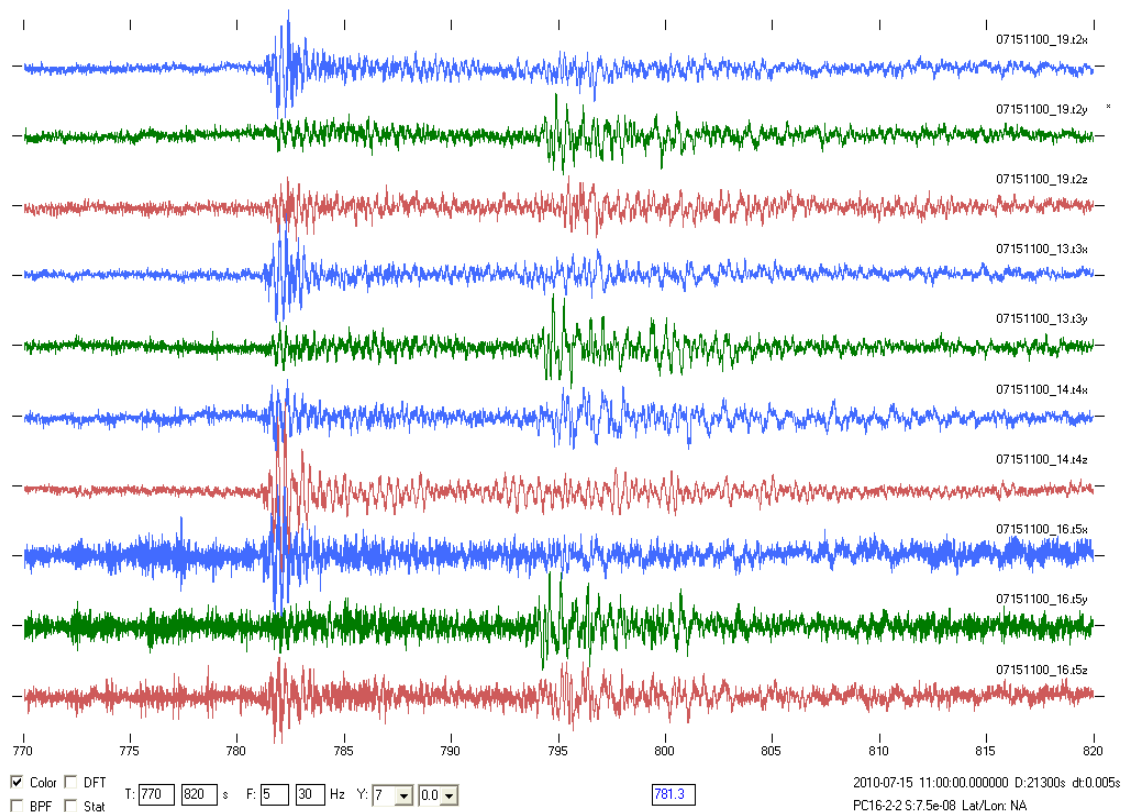


Рисунок 107 - Тот же фрагмент, что и на рис. 2.6, но с другими параметрами полосового фильтра 10 - 40 Гц (вверху) и 5 – 30 Гц (внизу).



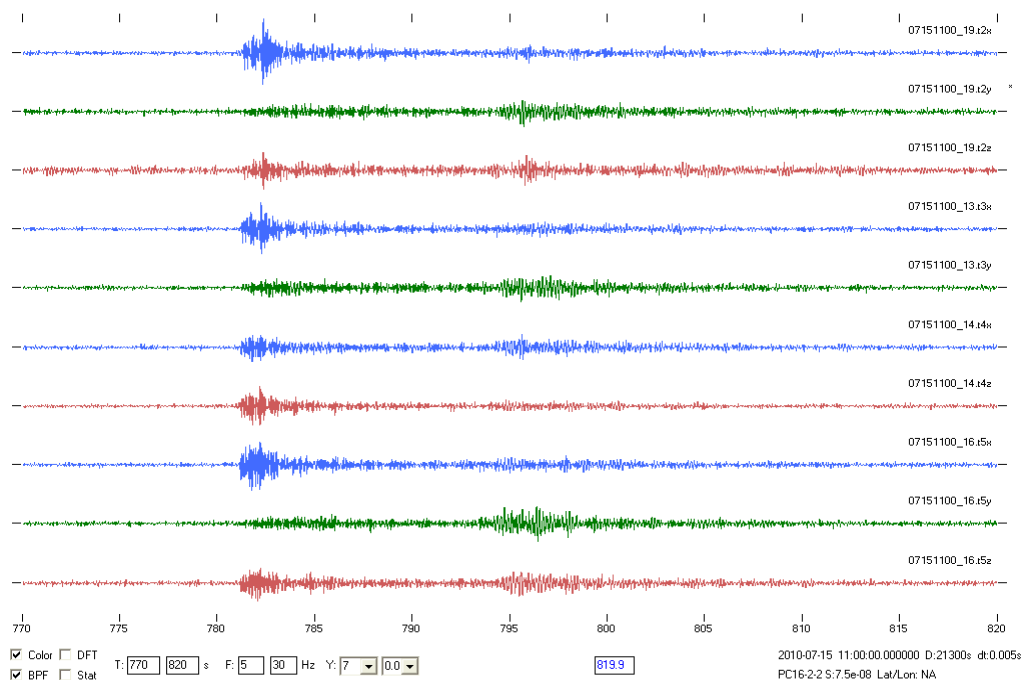


Рисунок 108 - Местное сейсмическое событие, зарегистрированное сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников T2, T3, T4 и T5. Начало записи: 15 июля 2010 г. в 11:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, без фильтрации (вверху) и с полосовым фильтром 5 - 30 Гц (внизу).

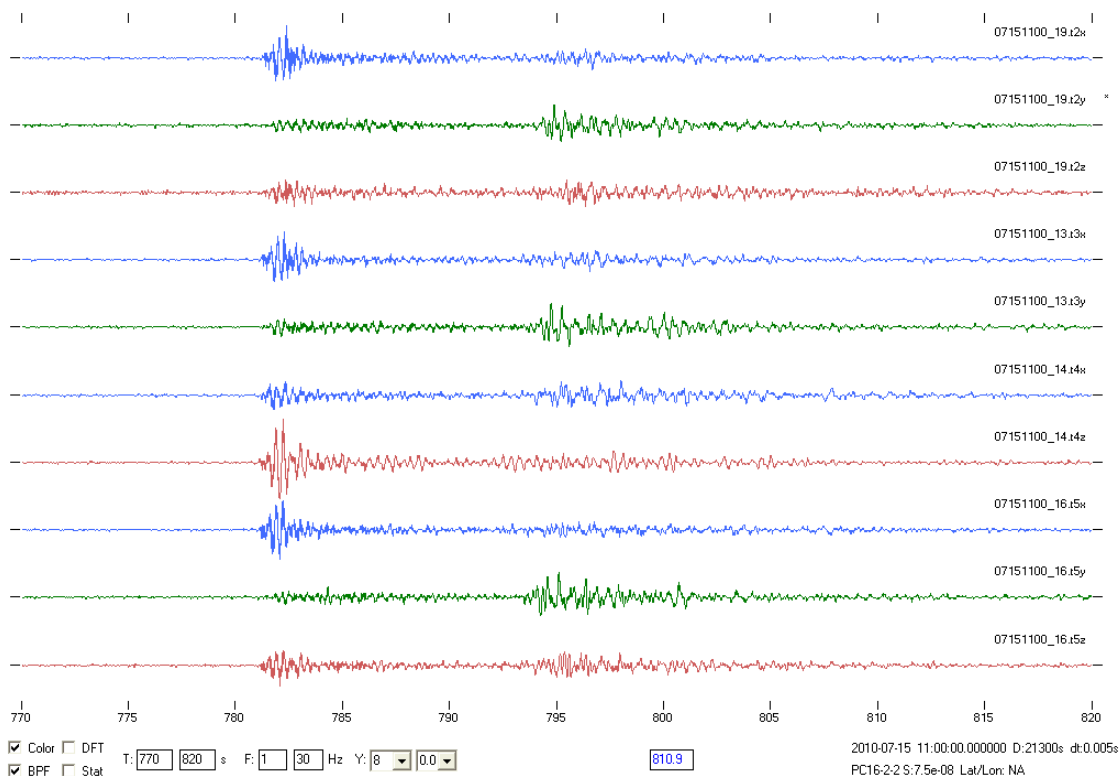


Рисунок 109 - Местное сейсмическое событие, зарегистрированное сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников T2, T3, T4 и T5. Начало записи: 15 июля 2010 г. в 11:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 1 - 30 Гц.

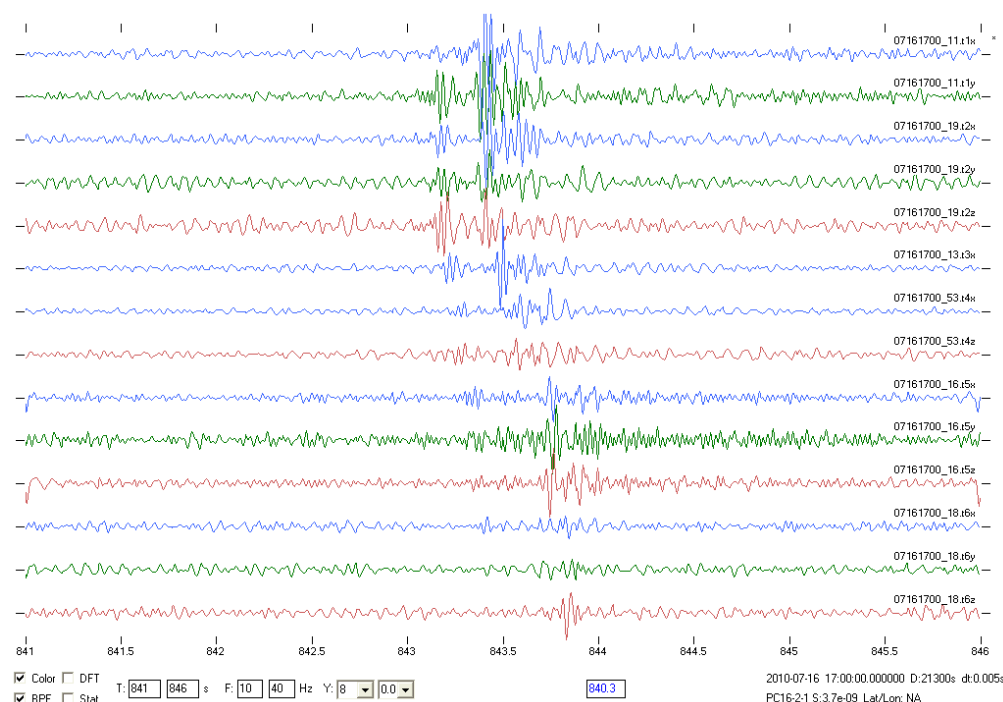


Рисунок 110 - Местное сейсмическое событие, зарегистрированное сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников Т1 – Т6. Начало записи: 16 июля 2010 г. в 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 40 Гц.

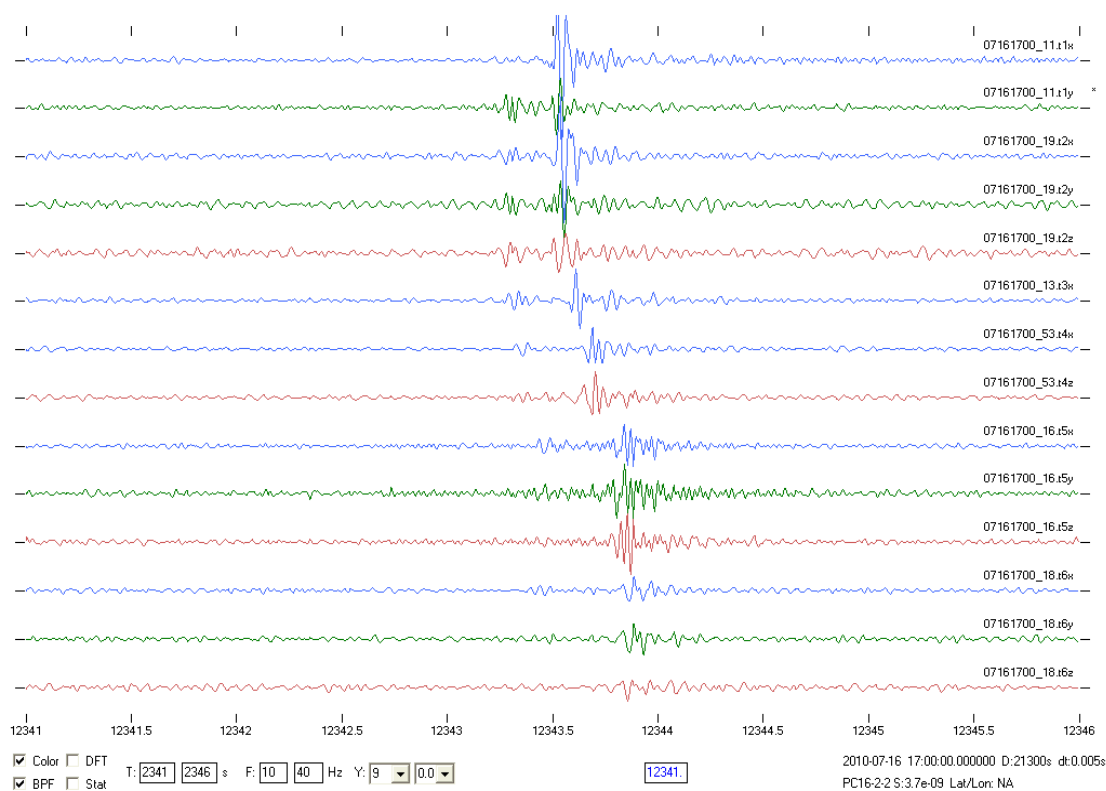


Рисунок 111 - Местное сейсмическое событие, зарегистрированное сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников Т1 – Т6. Начало записи: 16 июля 2010 г. в 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 40 Гц.

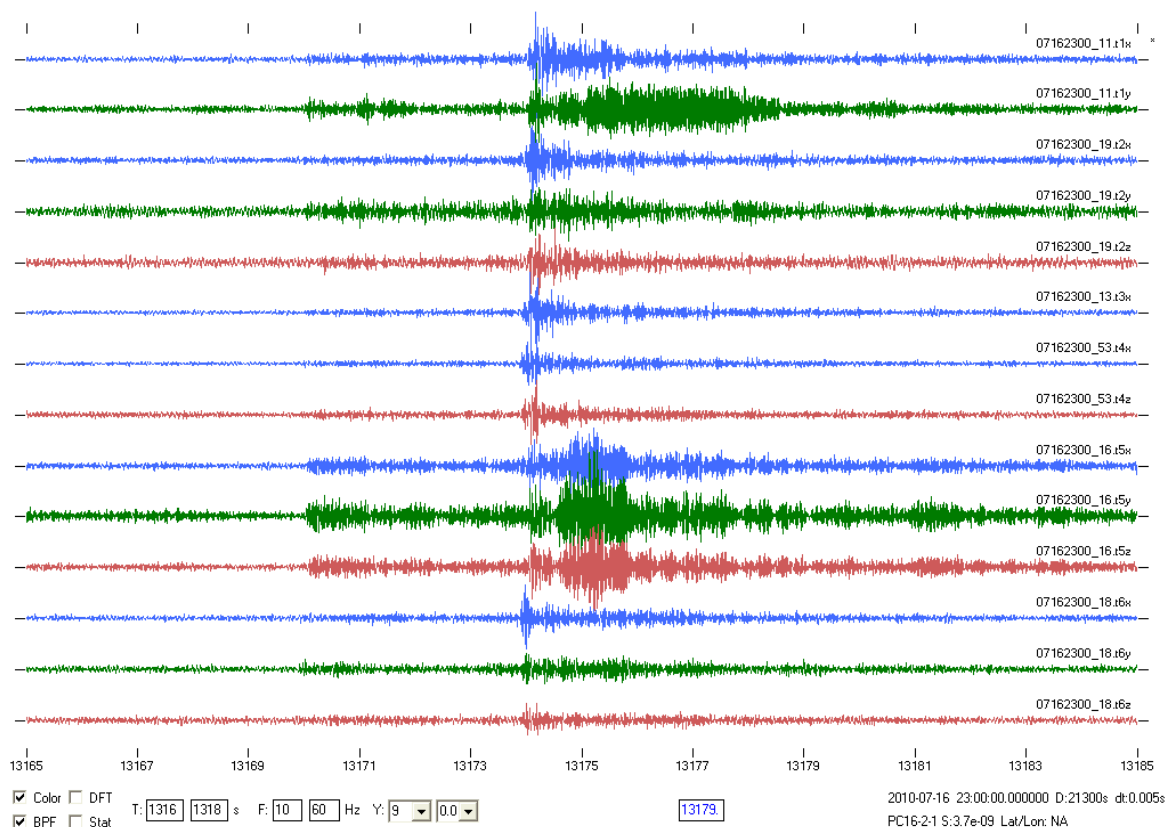
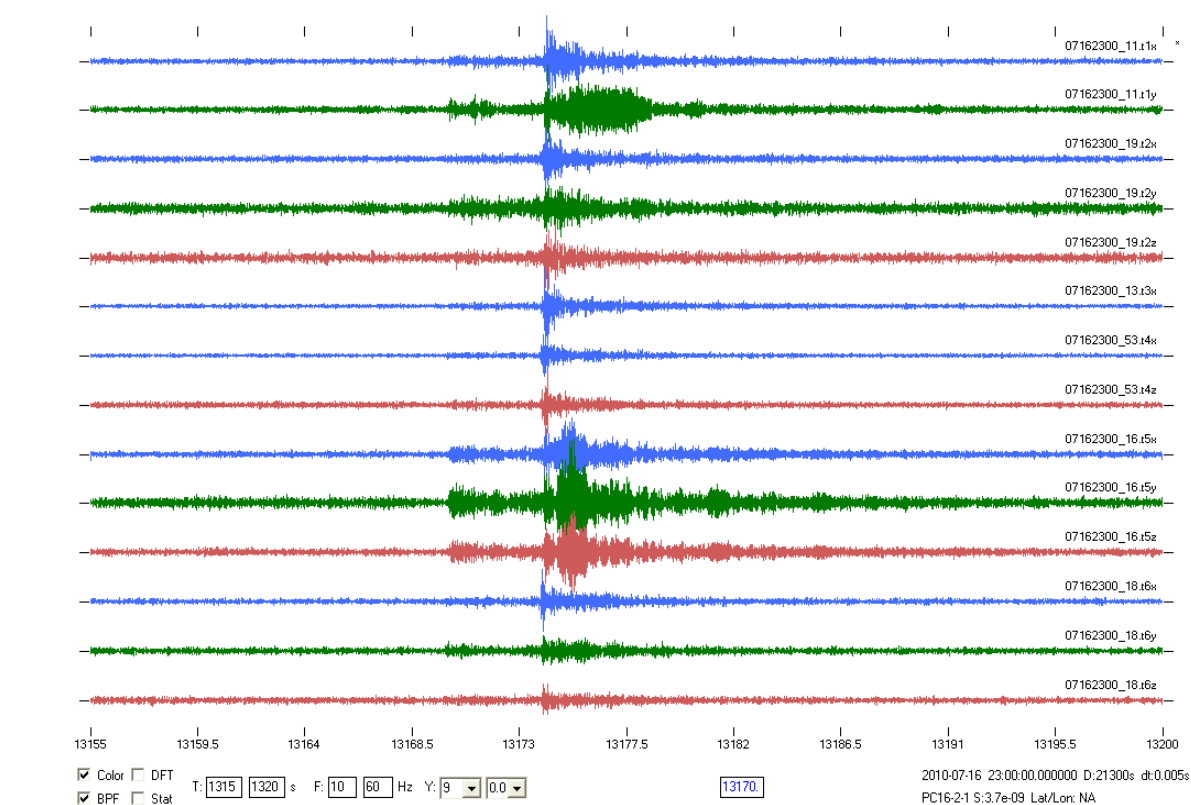


Рисунок 112 - Местное сейсмическое событие, зарегистрированное сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников Т1 – Т6. Начало записи: 16 июля 2010 г. в 23:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 60 Гц.

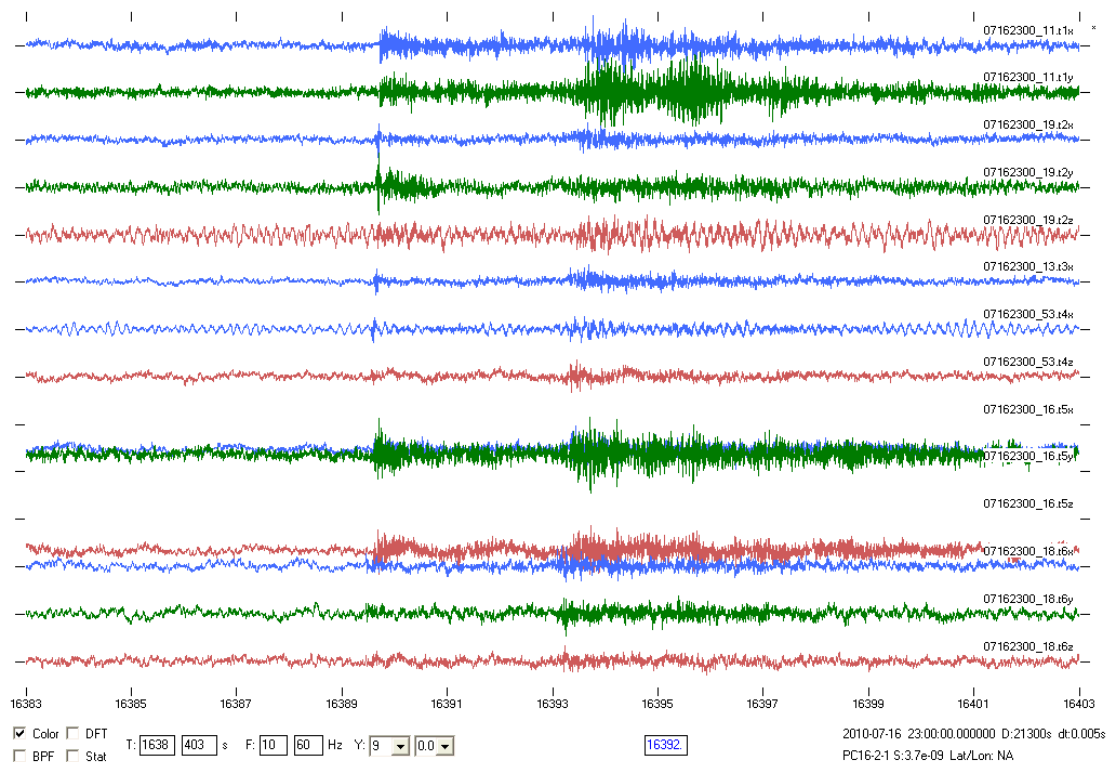


Рисунок 113 - Местное сейсмическое событие, зарегистрированное сейсмической антенной. Показаны записи с трёхкомпонентных сейсмоприёмников Т1 – Т6. Начало записи: 16 июля 2010 г. в 23:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, без фильтрации.

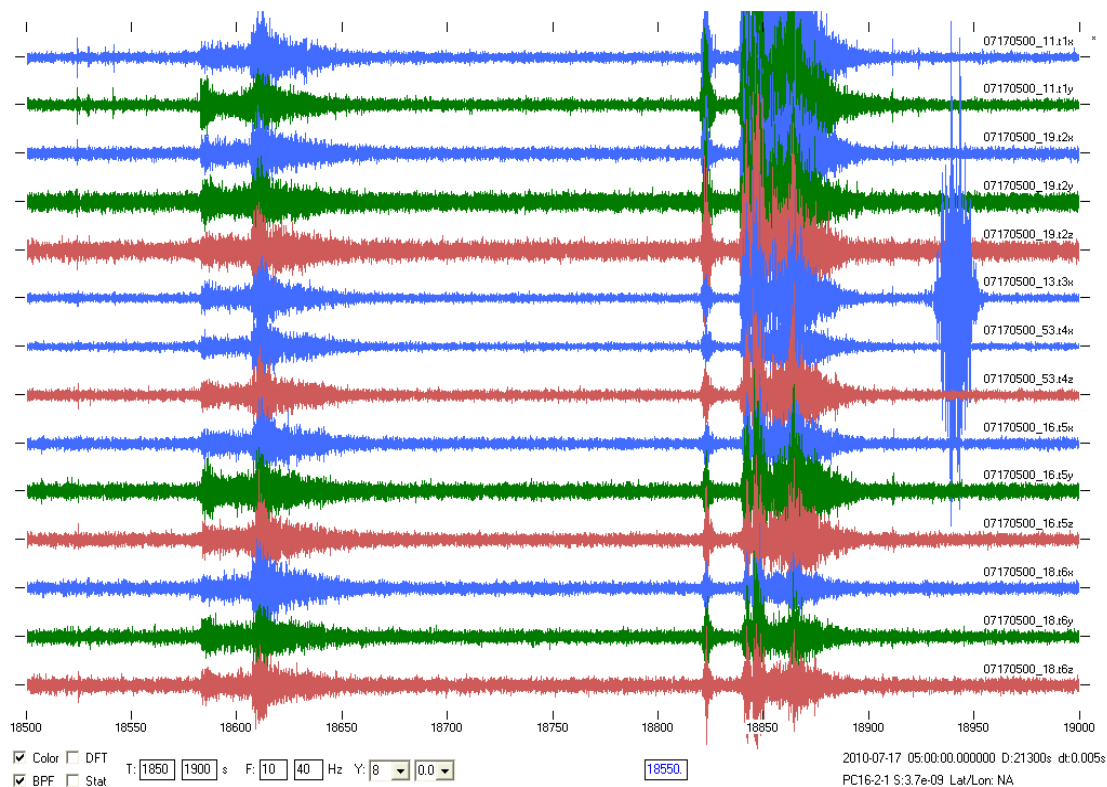


Рисунок 114 - Местные землетрясения 17 июля 2010 г. Начало записи – 05:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 40 Гц.

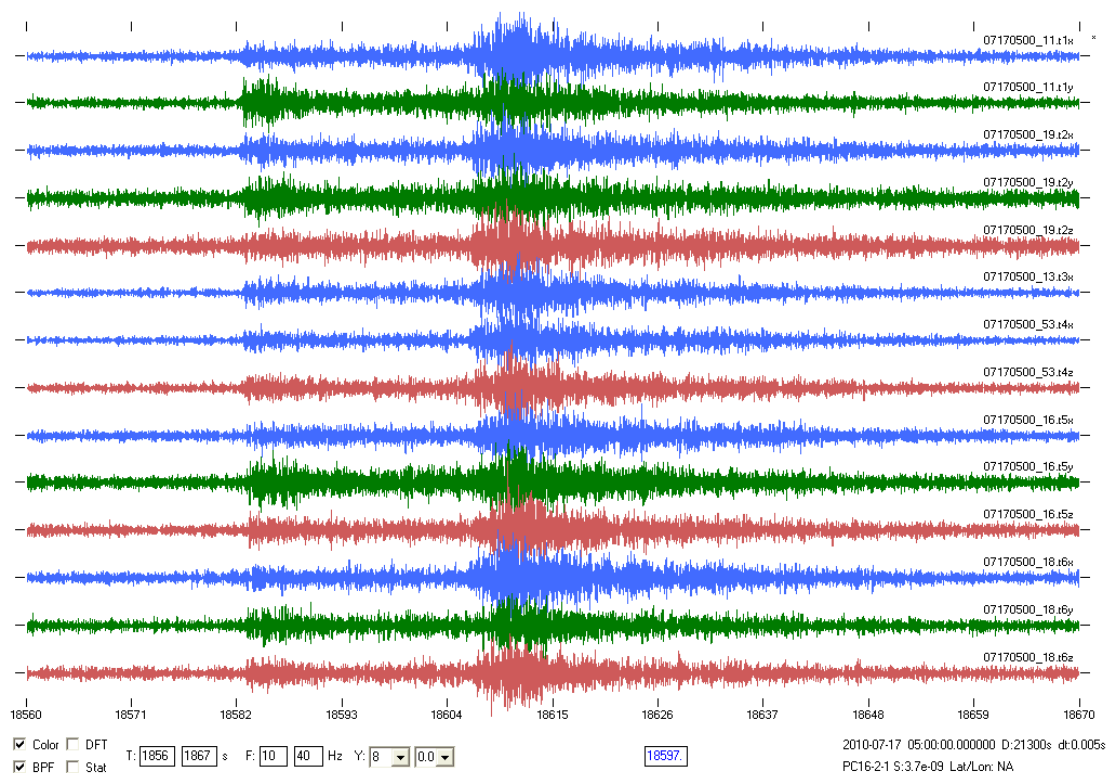


Рисунок 115 - Местное землетрясение 17 июля 2010 г. Начало записи – 05:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 40 Гц.

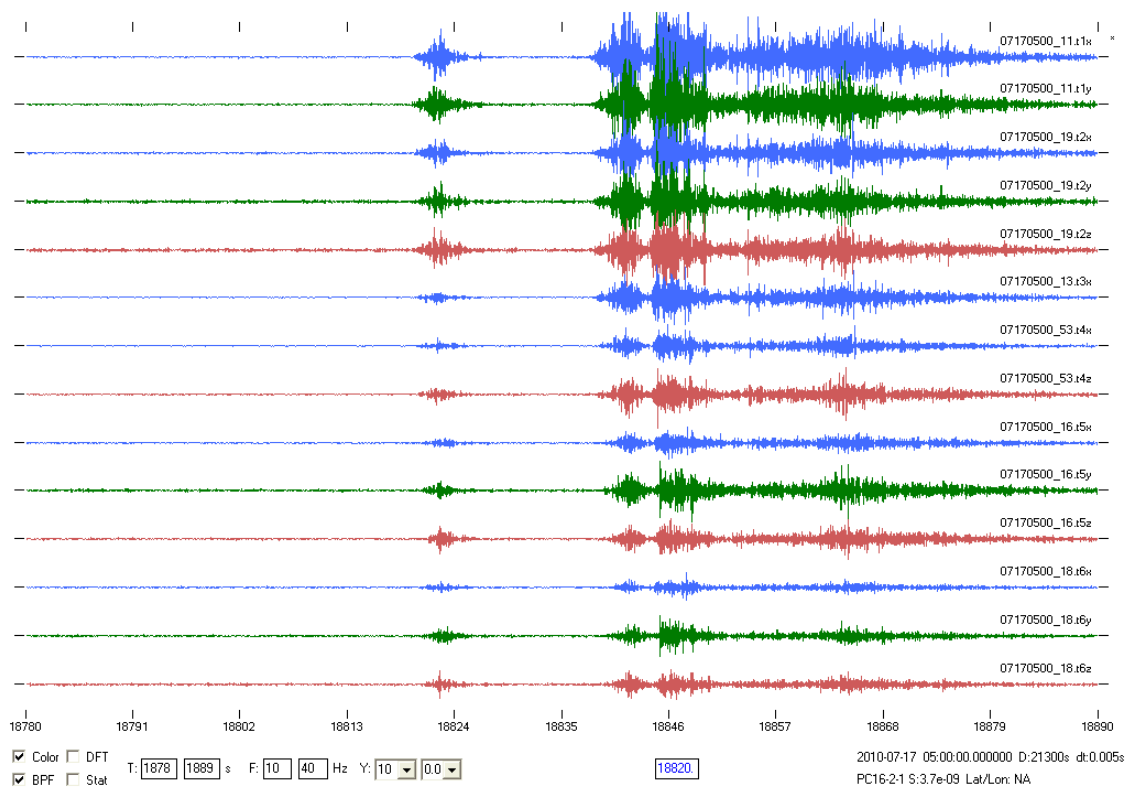


Рисунок 116 - Местные сейсмические события и техногенная сейсмическая активность 17 июля 2010 г. Начало записи – 05:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 40 Гц.

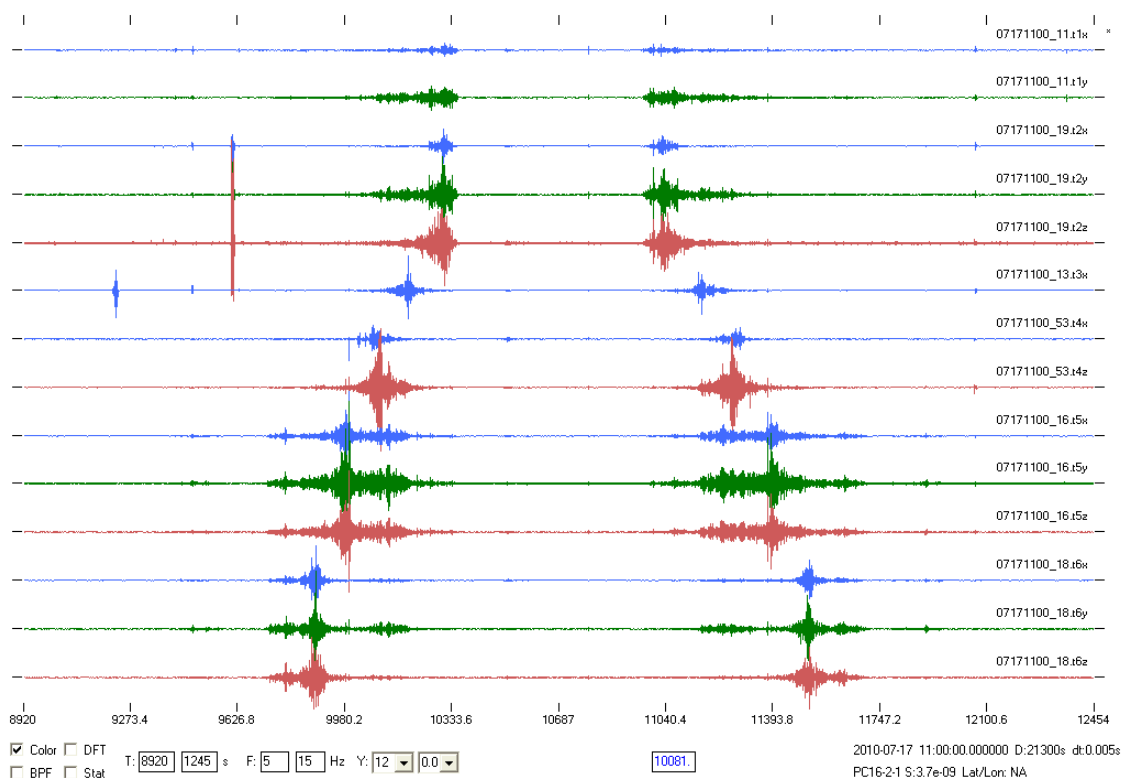


Рисунок 117 - Пример записи техногенного сигнала сейсмической антенной. На записи от 17 июля 2010 года зарегистрировано движение электровоза вдоль штольни «Главная». Приведены записи со всех шести датчиков сейсмической антенны.

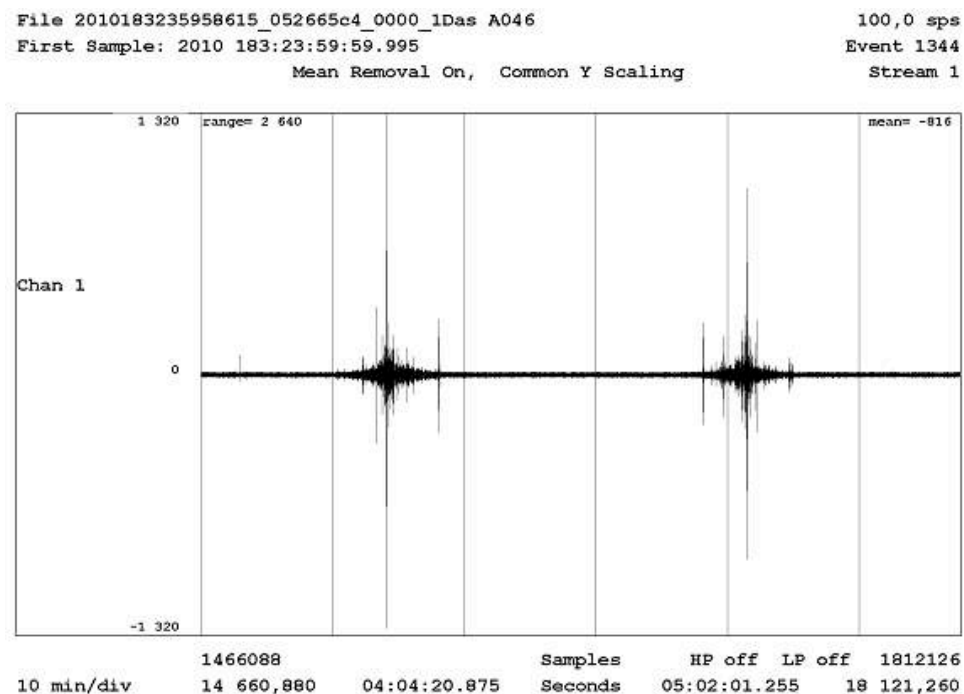


Рисунок 118 - Движение электровоза по штольне «Главная», зарегистрированное в Лаборатории №1 (пикет 15) сейсмоприёмником GEOSPACE 3C Seismonitor, канал Z.

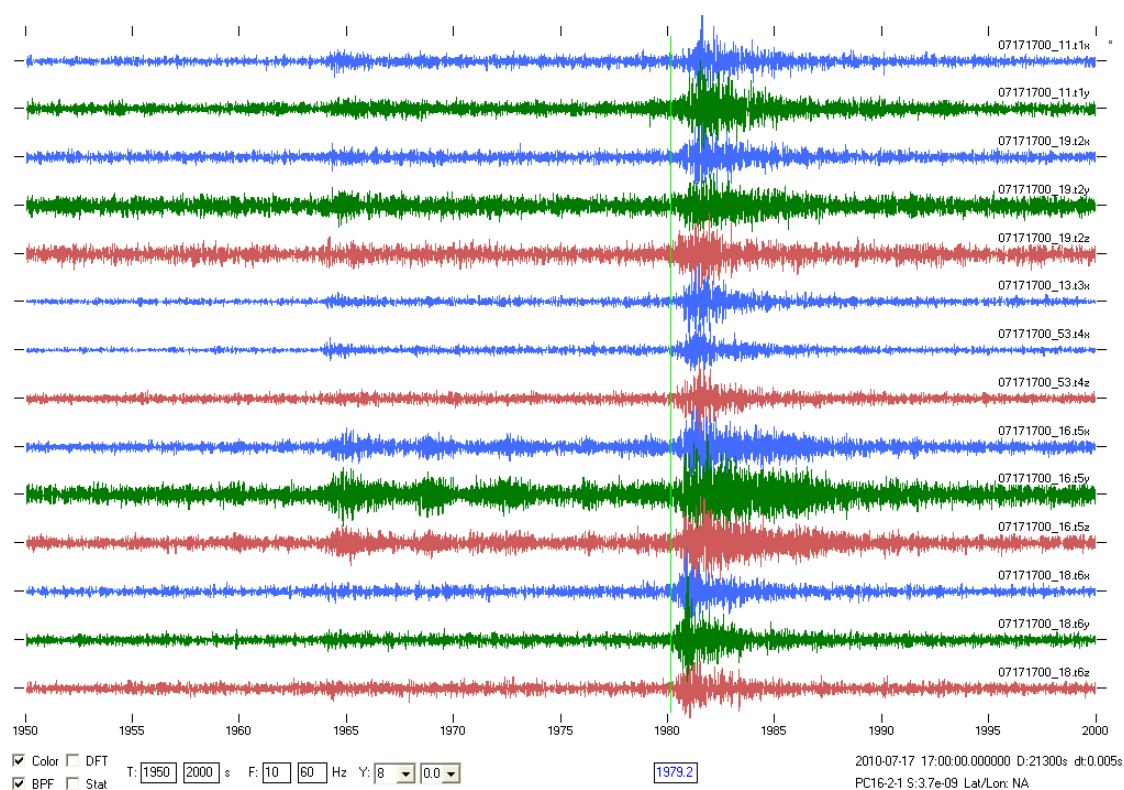


Рисунок 119 - Местные сейсмические события 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 60 Гц.

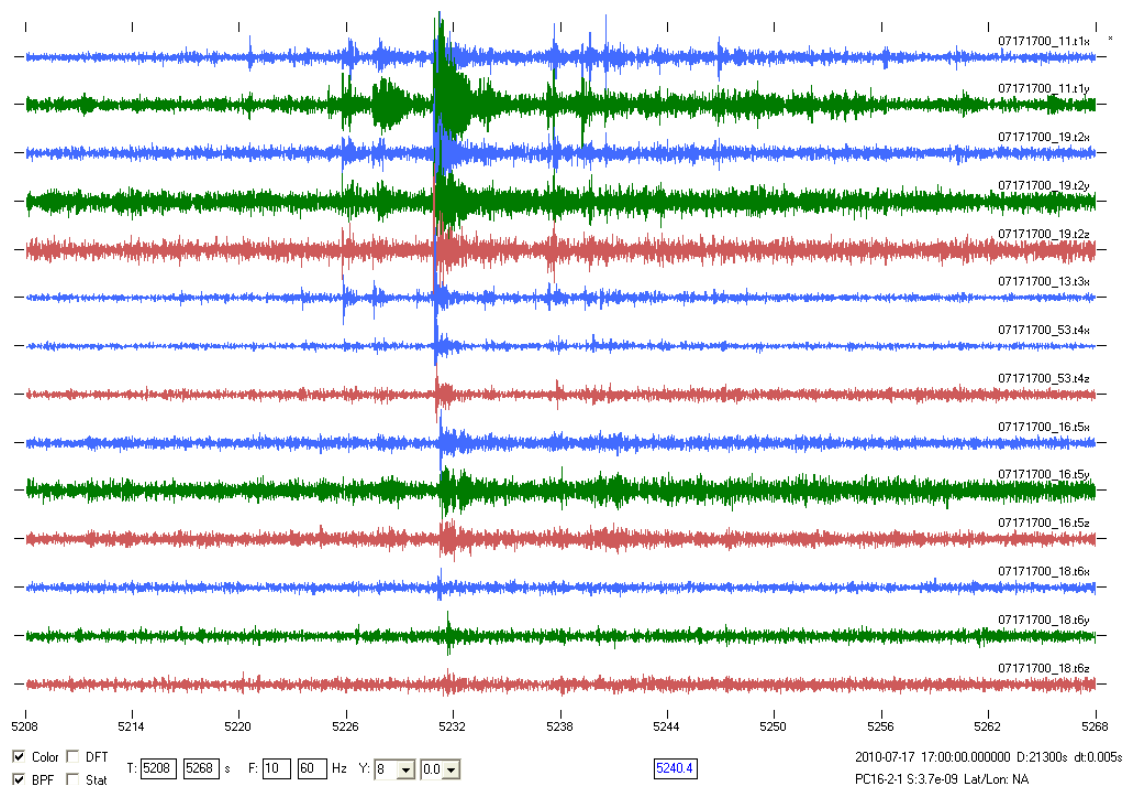


Рисунок 120 - Местные сейсмические события 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 60 Гц.

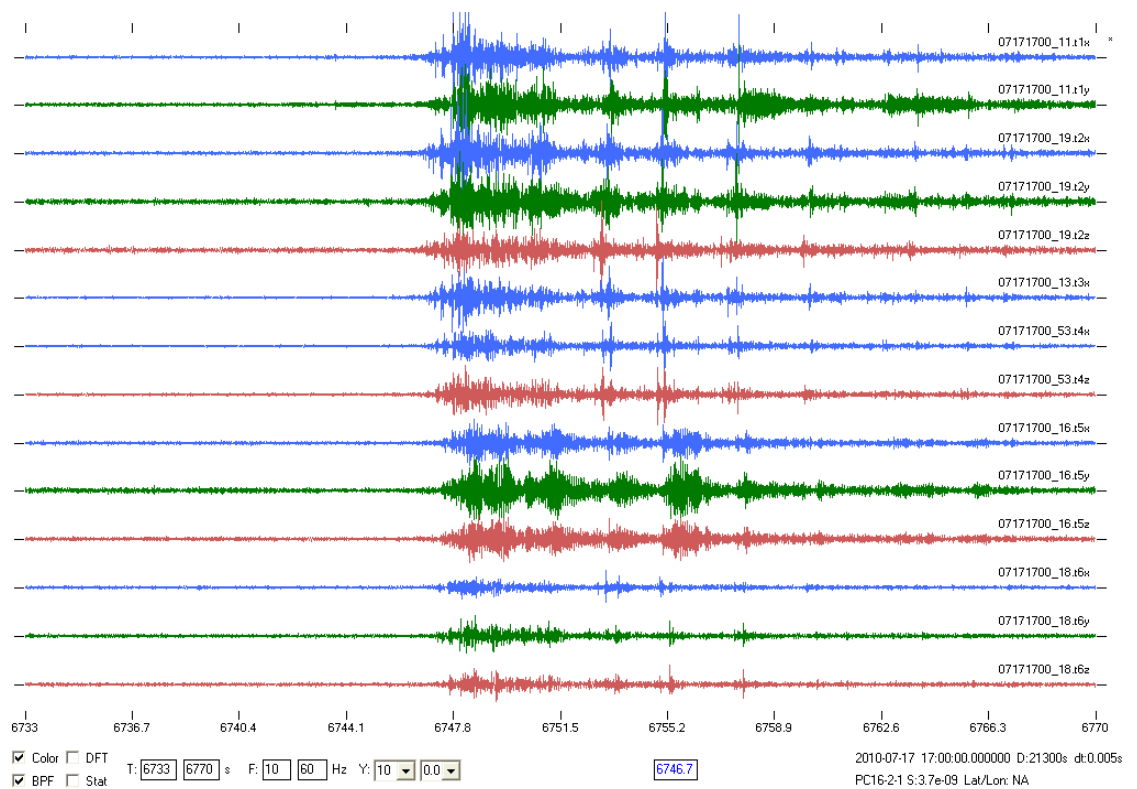


Рисунок 121 - Местные сейсмические события 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 60 Гц.

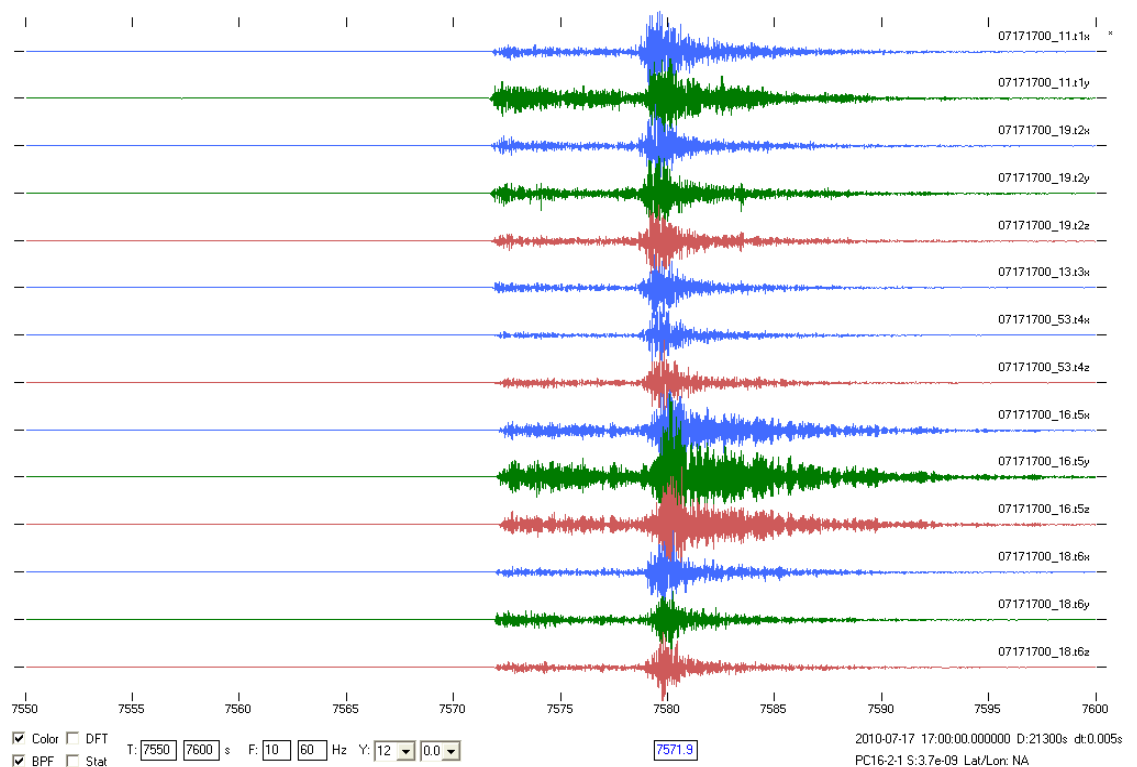


Рисунок 122 - Местное сейсмическое событие 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 60 Гц.

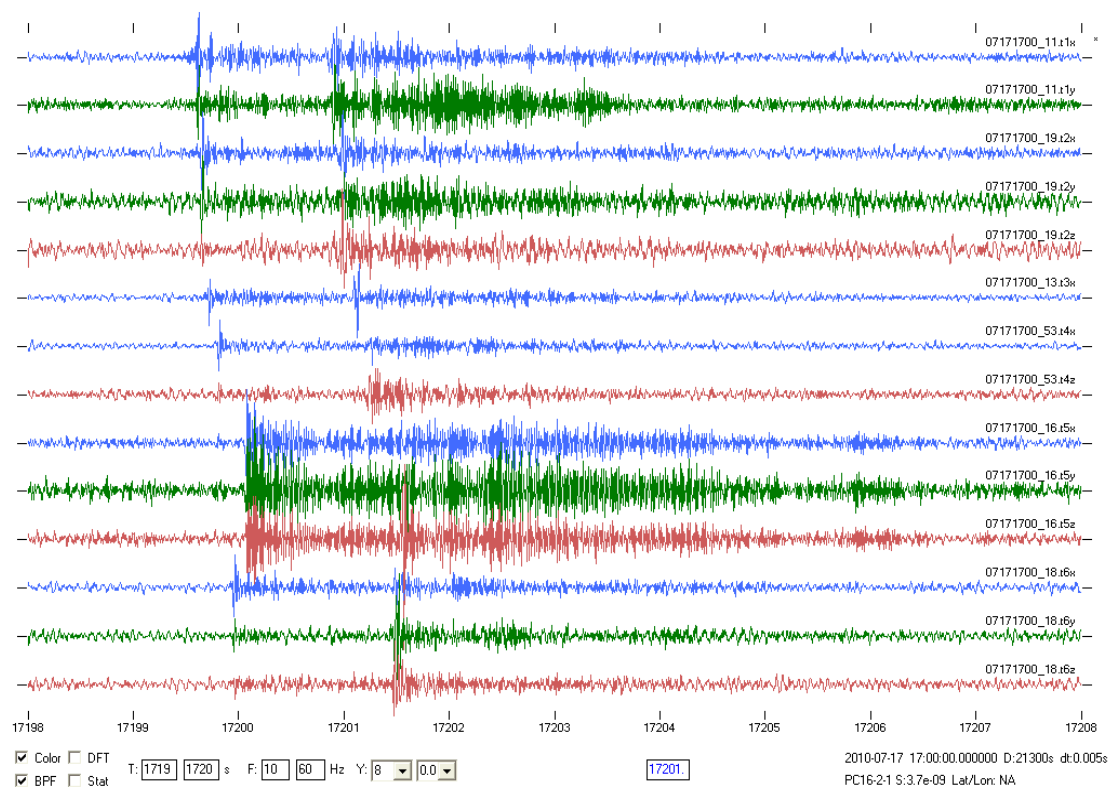


Рисунок 123 - Местное сейсмическое событие 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 60 Гц.

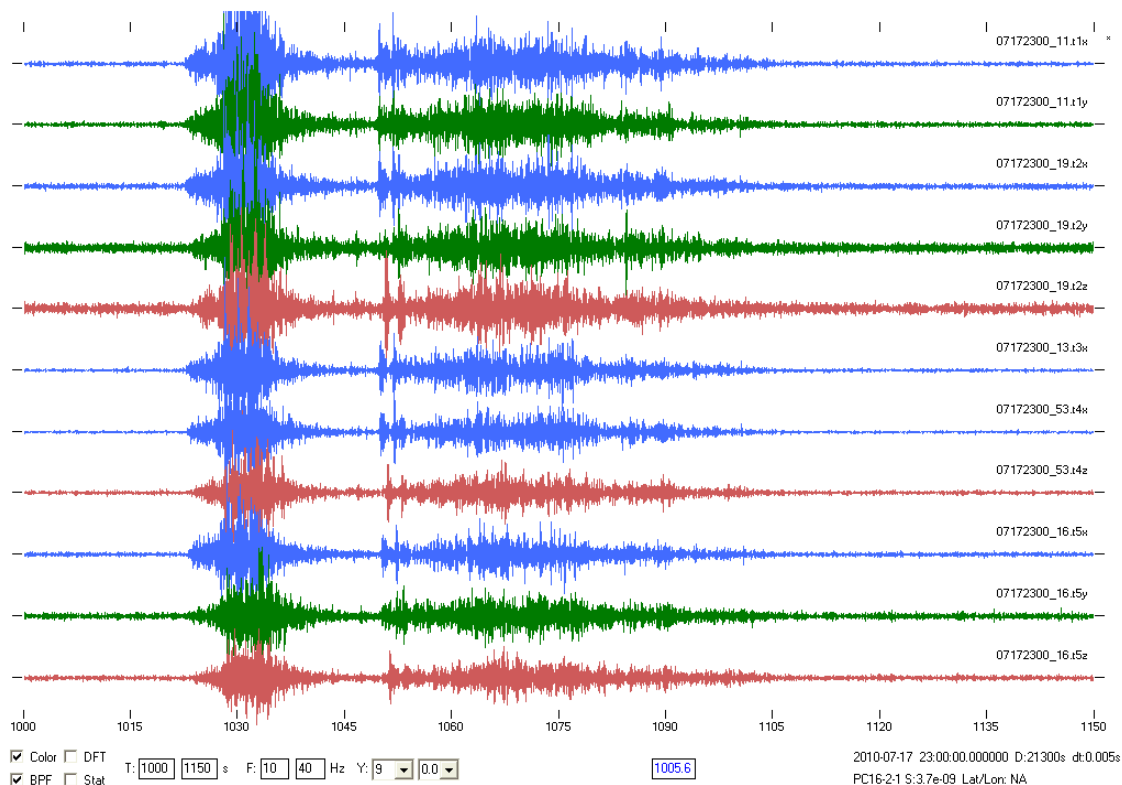


Рисунок 124 - Местное сейсмическое событие 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 40 Гц.

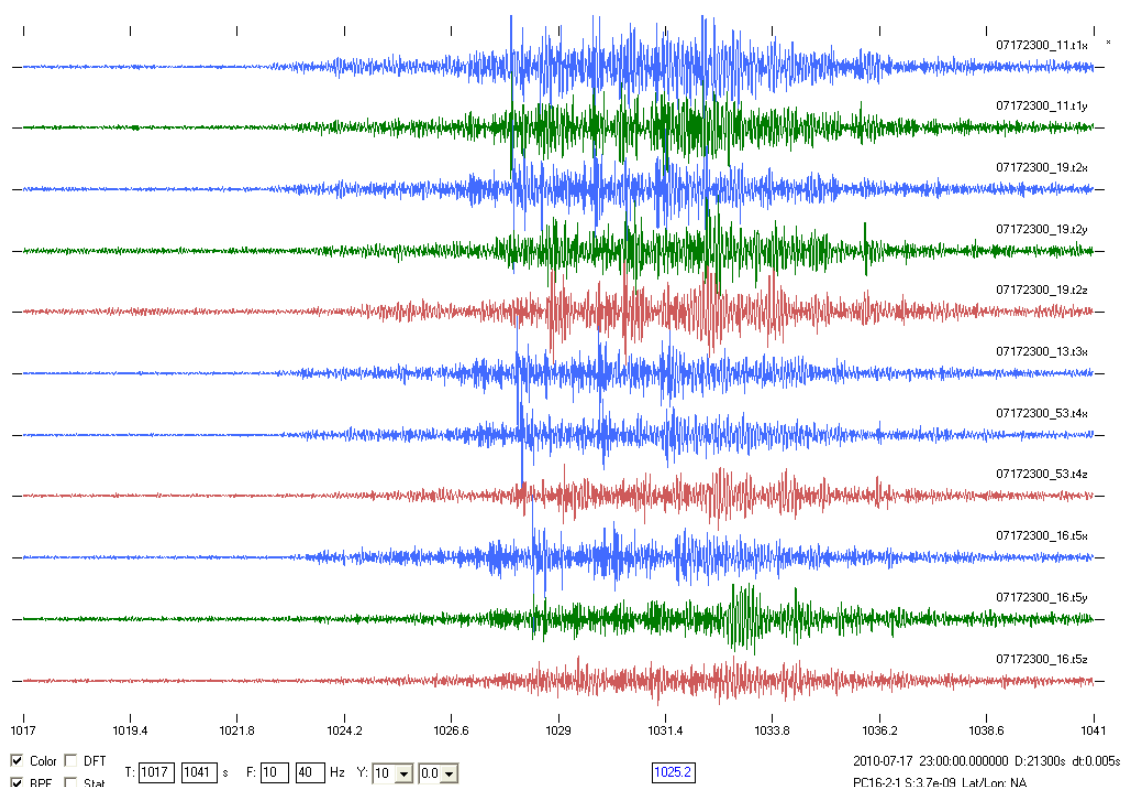


Рисунок 125 - Местное сейсмическое событие 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), по горизонтальной оси – время в секундах от начала записи, полоса пропускания фильтра: 10 - 60 Гц.

Приведенные на рисунках 118-125 данные регистрации местных сейсмических событий, зарегистрированных линейной антенной, отражают весь набор сигналов, которые удастся наблюдать в районе Эльбрусского вулканического центра. В течение суток удастся зарегистрировать до 15-20 и более разномасштабных локальных сейсмических событий. Отдельные события (рисунок 124, рисунок 125, и другие) длительностью до более 10 секунд мы связываем с динамическими процессами в локальных дилатансных структурах магматических образований вулкана Эльбрус. Другие сейсмические события, на которых четко удастся выделить фазу Р и поверхностные волны (рисунок 120 и др.) отражают слабые землетрясения, имеющие место в Эльбрусской вулканической области. Короткие сейсмические события (рисунок 118 и др.) отражают структуру горных ударов в штольнях БНО ИЯИ РАН.

Таким образом, при выполнении запланированных работ в рамках настоящей НИР нами впервые на Северном Кавказе была развернута подземная линейная сейсмическая антенна, которая позволила получить уникальную, не

имеющую аналогов в России, геофизическую информацию о «жизни» вулкана Эльбрус. Дальнейшие исследования этих процессов позволят выйти на технологии прогнозирования активизации вулканических процессов в регионе.

После завершения работ по установке и введению в эксплуатацию линейной сейсмоакустической антенны мы приступили к работам второй очереди. Они включали развертывание мобильной информационно-измерительной системы, включающей специализированные низкочастотные сейсмометры, обеспечивающих зондирование глубинных структур вулкана на волнах Релея в частотном диапазоне 0,05 – 10 Гц.

2.2 Технология глубинного низкочастотного микросейсмического зондирования строения литосферы на волнах Релея

Новая технология опирается на фундаментальное свойство неоднородностей Земной коры трансформировать структуру низкочастотного микросейсмического поля; на поверхности Земли над высокоскоростными неоднородностями спектральные амплитуды определенной частоты f уменьшаются, а над низкоскоростными неоднородностями возрастают. Частота f связана с глубиной залегания неоднородности H и скоростью фундаментальной моды волны Рэлея $V_R(f)$ соотношением $H=0,5V_R(f)/f$. При этом низкочастотное микросейсмическое поле является суперпозицией цугов фундаментальных мод Рэлея. Данные закономерности были взяты за основу А.В. Горбатиковым при создании принципиально новой технологии глубинного зондирования сложно построенных геологических структур.

Микросейсмы, впервые обнаруженные итальянским астрономом Бертелли в 1875 году, и в настоящее время продолжают привлекать внимание исследователей как в аспекте изучения их происхождения, так и практического использования. Уже в работах начала XX века был, в основном, установлен круг возможных источников и выяснен преимущественный физический механизм микросейсмических волн [47, 48]. Дальнейшие работы позволили

сформировать общую картину о механизмах излучения и особенностях распространения микросейсм [49, 50, 51, 52]. Эти результаты явились исходной моделью для более поздних исследований (см., например, [53, 54]).

Микросейсмические волны всегда присутствуют на поверхности Земли в каждой ее точке. Они постоянно вовлекают в колебания как верхние, так и более глубокие части Земной коры, предоставляя тем самым определенные возможности для получения информации об особенностях структуры и параметрах геологических объектов различных рангов. Многие исследователи развивают методы, в которых микросейсмы выступают в роли зондирующего сигнала. В этой области сегодня установилась весьма устойчивая терминология.

Так, например, условная их классификации по признаку «длинных» периодов ($T > 1$ сек) и «коротких» периодов ($T < 1$ сек) соответствует разделению между «микросейсмами» естественной природы и «микротремором» искусственной природы [53].

Микросейсмическое поле двойственно по своей природе. С одной стороны, оно представлено интерференцией сейсмических волн различных типов, механизмы, распространения которых хорошо изучены. С другой стороны, наблюдателю заранее неизвестна тонкая структура использованного волнового процесса, что делает микросейсмическое колебание в отдельной выбранной точке случайным процессом. Двойственность микросейсмического поля стала причиной разделения подходов к использованию микросейсм в качестве зондирующего сигнала на две основные группы. Первая группа базируется на детерминированных свойствах микросейсмических волн, вторая - на их основных статистических параметрах.

К первой группе относят исследования, в которых в качестве инструмента используются малоапертурные группы той или иной конфигурации [55, 56, 57] (вплоть до совсем небольших, содержащих не более трех синхронных приборов [58]). Как правило, цель измерений состоит здесь в получении экспериментальных дисперсионных зависимостей между скоростями

микросейсмических волн и соответствующими частотами в спектре. При этом обычно микросейсмические измерения объединяются с результатами других независимых геофизических методов и дополняются контрольными точками прямых измерений в скважинах [59]. Известны случаи применения такого подхода для выделения временных вариаций скоростей в некотором объеме геологической среды в связи с применением методов активной сейсмологии [60].

Принимая во внимание, что в описанном выше подходе за основу берут экспериментальные дисперсионные кривые, полученные при изучении микросейсмических полей в изучаемой геологической среде, естественно именовать группу таких методов «дисперсионными». Они частично уже были нами рассмотрены. Дисперсионные технологии обеспечивают получение объективных результатов, поскольку базируются на прямом измерении скоростных свойств пород в изучаемом объеме геологической среды и не предполагают каких-либо допущений *a priori* относительно типа распространяющейся волны, источника, тонкой структуры и т.п. Сами значения сейсмических скоростей, получаемые в процессе проведения измерений, и наличие в них заметной дисперсии являются основой для заключения о структуре наблюдаемых микросейсмических полей. Как показывает практика полевых работ, микросейсмические поля в таких наблюдениях преимущественно представлены поверхностными волнами Лява и Рэлея, если определенные обстоятельства не говорят о том, что в каком-то определенном месте результирующее поле может формироваться под влиянием локальных источников. Недостатки описанных выше современных технологий, в основе которых заложен «дисперсионный» подход, аналогичны недостаткам классической сейсморазведки и сводятся к известным трудностям, возникающим при построении поля скоростей сейсмических волн в изучаемой геологической структуре.

Ко второй группе (назовем условно эту группу «статистической») относятся технологии, базирующиеся на корреляции тех или иных устойчивых

статистических характеристик случайного микросейсмического поля с разномасштабными неоднородностями, имеющими место в изучаемом объеме геологической среды. В качестве таких характеристик могут быть использованы, например, частоты и амплитуды пиков в микросейсмических спектрах в предположении их связи с пространственными параметрами залегания геологических слоев [61, 62]. Эта группа технологий менее объективна, чем первая, что связано с необходимостью принятия при интерпретации ряда допущений относительно природы источников микросейсм и их спектральных свойств, в первую очередь преобладающего типа волн в микросейсмическом сигнале. Как правило, эти допущения основаны на предварительном экспериментальном изучении и на модельных расчетах. Однако без специального контроля источника полезного сигнала и изучения состава микросейсм всегда остается неоднозначность в интерпретации измерений, приводящая в конечном итоге к ненадежности конечного результата (см., например, [63]).

Прогресс в развитии второй группы технологий связан с поиском эффективных методических приемов, снижающих влияние нестабильностей различных уровней в структуре микросейсмических источников шума. Здесь, в свою очередь, можно выделить два направления.

Во-первых, это определение и анализ спектральных отношений между структурой шумов в районе изучаемого геологического образования на некоторой площади опорной и изучаемой территории [64, 65, 66].

Во-вторых, это изучение пространственных характеристик и оценка спектральных соотношений горизонтальной и вертикальной компонент полезного сигнала - метод Накамуры (см., например, [67, 68]).

Методы «статистической» группы в подавляющем числе случаев нацелены на то, чтобы обойти технологические сложности и сравнительно высокую стоимость и трудоемкость измерений, характерную для «дисперсионной» группы, но, тем не менее, получить информацию о пространственном распределении скоростных параметров изучаемой

геологической структуры. Например, в работе даже в отсутствии фазовой информации были получены оценки S-скоростей локального разреза на основе анализа спектральных соотношений горизонтальной и вертикальной компонент.

Наши подходы, развиваемые исходя из концепции, разработанной А.В. Горбатиковым, развивают существующие представления о структуре локального микросейсмического поля в части влияния разномасштабных геологических неоднородностей на пространственное распределение спектральных характеристик.

Прежде чем применить рассматриваемую технологию в районе Эльбрусского вулканического центра мы провели специализированные эксперименты в различных регионах Северного Кавказа. Измерения в полевых условиях осуществлялись отдельными переносными датчиками с цифровым регистратором, а информативным параметром для анализа было выбрано пространственное распределение амплитуд спектральных компонент микросейсмического поля. В ходе экспериментов обнаружено, что под влиянием глубинных геологических неоднородностей формируются надежно различимые изменения в интенсивности микросейсм на определенных частотах, которые можно зарегистрировать в пределах выбранного полигона при сравнительно небольших смещениях датчика вдоль его поверхности (порядка длины волны и меньших). Кроме того, удалось установить, что не только грунты или верхняя осадочная часть разреза влияет на формирование спектра микросейсм, но и глубокие слои, вплоть до десятков километров определенным образом отражаются в результирующем микросейсмическом спектре.

Существенным отличием нового метода зондирования геологических структур является использование закономерности, установленной экспериментально А.В. Горбатиковым, - локальное геологическое строение определяет не сам вид спектров микросейсмического поля, а его малые пространственные вариации.

2.2.1 Трансформация структуры поверхностных волн Рэлея под влиянием локальных неоднородностей геологической среды

Проблема трансформации волн Рэлея на неоднородностях геологической среды давно привлекает внимание исследователей, а сама задача является чрезвычайно сложной как в теоретическом, так и в экспериментальном плане. Наиболее полно и глубоко данная проблема освещена в известной монографии [69]. Согласно этой работе сложность задачи обусловлена тем, что получение точного решения об отражении и прохождении поверхностной волны через вертикальный контакт среда-неоднородность не представляется возможным в связи с образованием в окрестности контакта интенсивных объемных волн. Эти волны можно учесть только с той или иной степенью приближения, для чего следует использовать приближенные аналитические, либо численные методы.

Приближенные методы расчета, предназначенные только для оценки спектральных коэффициентов отражения и прохождения, развивались в конце прошлого столетия в нескольких направлениях, из которых главными являются:

- 1) метод функций Грина [70, 71];
- 2) приближенное выполнение граничных условий на вертикальном контакте [72, 73]
- 3) представление поля поверхностной волны суперпозицией плоских однородных и неоднородных объемных волн [74].

К численным методам, прежде всего, следует отнести получившие достаточно широкое применение методы конечных разностей и конечных элементов, которые позволяют строить численное решение для полей поверхностных волн в моделях, содержащих узкие зоны перехода от одной горизонтально-однородной среды к другой (см., например, [75]).

В настоящее время для моделирования поведения сложных геофизических структур все более широкое применение находят подходы, использующие метод конечных элементов. Распространение фундаментальной

моды Рэлеевской волны в присутствии локализованной по глубине и по горизонтали неоднородности моделировалась учеными из ИФЗ РАН с использованием пакета «Comsol Multiphysics». В работе [76] решалась двумерная задача по расчету полного вектора движения в упругом полупространстве, которое было представлено однородным слоем с закрепленной нижней гранью, свободной верхней гранью, свободной правой гранью и краевыми условиями на левой грани.

В расчетах фундаментальная мода Релеевской волны задавалась смещением точек отдельной грани по вертикальной и горизонтальной осям. Эти точки соответствовали теоретическому решению.

В свою очередь, локализованная неоднородность задавалась как объем, отделенный от остальной среды границами, на которых происходит изменение скоростных свойств. Длительность цуга волны выбиралась исходя из условия, что волна в прямом направлении должна успеть пройти над неоднородностью, а волна, отраженная от свободной грани, не должна еще подойти в обратном направлении.

Расчетная модель была задана 18000 элементами, значения сейсмических скоростей в полупространстве были заданы $V_P=3000$ м/с, $V_S=1700$ м/с.

Для неоднородности скорости V_P и V_S согласованно задавались как выше, так и ниже скоростей в полупространстве на 20-25%. Кроме того, в процессе повторных расчетов варьировалось расположение неоднородности по глубине, а также размер неоднородности по вертикали и горизонтали. Некоторые характерные результаты моделирования приведены на рисунке 126.

Моделирование показало, что при своем распространении фундаментальная мода поверхностной волны Рэлея реагирует на заглубленную и локализованную по вертикали и горизонтали неоднородность следующим образом. Если глубина залегания неоднородности значительно превышает длину поверхностной волны, а значит, и эффективную глубину ее проникновения, то волна распространяется вдоль поверхности без взаимодействия с неоднородностью (рисунок 126 в).

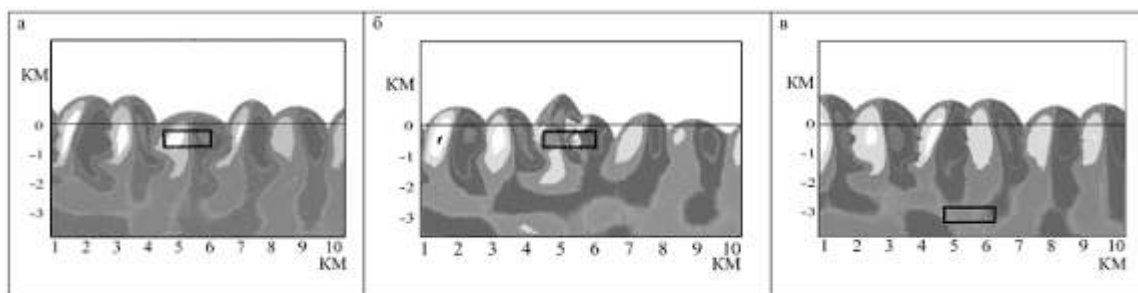


Рисунок 126 - Моделирование взаимодействия локальной неоднородности с распространяющейся фундаментальной модой Рэлея. Тонем показано поле сдвиговых напряжений. По осям отложено расстояние в километрах. Деформированная форма схематически отражает поле вертикальных смещений в волне. а) Понижение амплитуды над высокоскоростной неоднородностью на глубине $H=0.5 \lambda$, где λ - длина волны Рэлея; б) Повышение амплитуды над низкоскоростной неоднородностью на глубине $H=0.5 \lambda$; в) Неоднородность расположена глубоко по сравнению с проникновением волны. Взаимодействия не наблюдается независимо от скоростных свойств неоднородности.

Соответственно, в натуральных условиях неоднородность никак не проявится для наблюдателя. Если модельную неоднородность постепенно приближать к поверхности, то, начиная с некоторой глубины, волна начинает с ней взаимодействовать. Как уже отмечалось, здесь имеют место характерные в сейсмических волновых полях процессы обмена, преломления и отражения. Данное взаимодействие доступно для наблюдения на поверхности. В общем случае, если сейсмические скорости в неоднородности выше, чем в окружающем полупространстве, то над неоднородностью амплитуда вертикальной компоненты уменьшается, если же скорости в неоднородности ниже, чем в окружающем полупространстве, амплитуда вертикальной составляющей увеличивается (рисунок 126 а,б). Были выполнены многократные повторные расчеты данной модели с различными значениями взаимных скоростей полупространства и неоднородности, а также различными соотношениями между длиной поверхностной волны, размерами неоднородности и глубиной ее расположения. Удалось установить, что при достаточном вертикальном размере неоднородности, она максимально трансформировать поле амплитуд на поверхности, если неоднородность находится на глубине равной, приблизительно, половине длины этой волны. Значит, наиболее яркой реакции от неоднородности в поверхностном

микросейсмическом поле следует ожидать при соотношении глубины залегания неоднородности H и длины волны фундаментальной моды Рэлея: $H=0,5 \lambda$, где λ – длина волны.

Результаты моделирования позволяют более глубоко понять физическую картину процесса. Известно, что в объемных волнах каждая точка среды попеременно участвует в максимальных смещениях и максимальных напряжениях. В фундаментальной моде Рэлея, в отличие от объемных волн, зона максимальных сдвиговых напряжений разделена в пространстве с зоной максимальных смещений и расположена на глубине $H \sim 0,5 \lambda$, в то время как зона максимальных смещений расположена ближе к поверхности. При этом движение частиц у поверхности отчасти отражает вращательное движение вокруг центра максимальных напряжений. Таким образом, если при распространении волны вдоль поверхности зона максимальных напряжений «натолкнется» на неоднородность с отличными упругими свойствами, то это проявится в амплитудах смещений на поверхности. Важно, что таким свойством обладает только фундаменальная мода Рэлея. Объемные волны, а также высшие моды Рэлея и волны Лява, для формирования которых необходимо наличие отражающих границ, не имеют такого согласованного пространственного разделения «смещение-напряжение».

В случае использования микросейсмического поля в распоряжении экспериментатора имеется набор рэлеевских фундаментальных мод, которые формируют в частотной области широкий непрерывно заполненный спектр. Появляется возможность «прозондировать» весь диапазон глубин с помощью зон максимальных напряжений. Причем выполнить такое зондирование можно не, только в одной точке, а вдоль профиля или по площади полигона. Однако, чтобы правильно воспользоваться этим природным источником сигнала, следует сделать ряд оговорок.

Во-первых, состав микросейсмического поля не ограничивается исключительно фундаментальными модами Рэлея. Не говоря уже о горизонтальных компонентах, во многом формируемых за счет волн Лява, даже

в формировании спектра вертикальной компоненты наряду с фундаментальной модой Рэлея могут участвовать как объемные волны, так и высшие рэлеевские моды (см., например, [77]). Тем не менее, если принять во внимание большой объем независимых исследований и публикаций в этой области, то следует признать, что подобные случаи в практике анализа микросейсм встречаются нечасто и могут служить скорее примерами исключений. Большинство работ, в том числе практический опыт, указывает на то, что микросейсмическое поле (по крайней мере, что касается вертикальной компоненты) преимущественно формируется за счет фундаментальной моды Рэлея.

Во-вторых, однократная регистрация микросейсм на короткой временной базе не дает, как правило, непрерывного спектра. Микросейсмический сигнал в точке - процесс случайный, и чтобы получить его спектральную оценку с непрерывным спектром, необходимо провести накопление сигнала на некоторой продолжительной временной базе. При этом нужно иметь в виду, что реальный микросейсмический сигнал обладает определенными свойствами стационарности, которые необходимо учитывать, производя накопление.

В-третьих, необходимо иметь в виду, что зона максимальных сдвиговых напряжений, на которую следует опираться как на зондирующую область, имеет размеры, определяемые длиной волны. Экспериментально нельзя зафиксировать реакцию в амплитудах на поверхности от неоднородности, размер которой будет существенно меньше этой области. Ясно также, что абсолютное разрешение падает с увеличением глубины зондирования. Чем больше длина волны, тем больший размер имеет озвученная область, тем ниже чувствительность волны по отношению к неоднородности определенного размера.

2.2.2 Технология полевых работ

Реализация технологии в полевых условиях требует выполнения ряда измерительных процедур, которые включают:

- измерения спектров микросейсмического поля в точках сети выбранного полигона,
- построения карт относительной интенсивности микросейсмического сигнала для каждой частоты в спектре,
- привязки карты к глубине с помощью простого расчетного соотношения $H=0,5\lambda$ с использованием экспериментальной дисперсионной зависимости для фундаментальной моды Рэлея в данном регионе.

При выполнении указанных процедур можно получить оценку разреза или трехмерного изображения некоторой заглубленной геологической неоднородной структуры. При этом средний скоростной разрез региона будет входить в расчет через длину волны Рэлея λ и соответствующую ей частоту в спектре. На принципиальную возможность реализации такого подхода указывают исследования ряда ученых. Например, [78] установили на основе анализа регистрации микросейсм сетью станций, что зависимость спектров от геологических условий проявляется сильнее, чем зависимость от временных вариаций, и, значит, существует определенная возможность картировать территорию по параметру интенсивности микросейсмических сигналов и коррелировать результат с геологическими условиями.

Реализация новой технологии на практике приводит к необходимости контролировать два основных параметра:

- 1) преобладающий тип волны в анализируемом микросейсмическом поле для правильной интерпретации результатов,
- 2) стационарность измеряемых статистических параметров для установления однозначной связи между пространственными особенностями геологического строения и пространственными характеристиками микросейсм, если измерения в точках измерительной сети выполняются не одновременно.

Установлено, что свойства стационарности микросейсм зависят от частотного диапазона, в котором они проявляются. В свою очередь, сами частоты связаны с природой источников микросейсм. Микросейсмы сравнительно низких частот 0,2-0,3 Гц и ниже ($T>3-5$ сек) распространяются в

виде поверхностных волн на расстояния в сотни и тысячи километров от своих источников. Они возникают вследствие воздействия прибоа, передачи вариаций давления через водную толщу на дно с последующим распространением по континенту, а также передачи вариаций давления непосредственно на твердую поверхность [79]. В ряде случаев вариации давления могут порождаться вследствие ветрового воздействия на поверхность океана и появления зыби, вследствие прямого действия пульсаций атмосферного давления в центрах крупных атмосферных вихрей на поверхность акваторий и территорию суши, а также при зарождении внутренних гравитационных волн в океанах.

Ввиду связи с крупными атмосферными структурами микросейсмы с частотами ниже 0,13-0,2Гц ($T > 5-7$ сек) могут оставаться стабильными в течение нескольких часов и, иногда, даже дней, их активность хорошо коррелируется с метеорологическими возмущениями над океанами. Микросейсмы промежуточных периодов от 3-6 секунд генерируются преимущественно океаническим прибоем и обладают меньшей временной стабильностью. Колебания более высоких частот, в основном, генерируются в результате индустриальной и транспортной деятельности человека, а также в результате резких погодных изменений, таких, как локальные ветровые порывы [80] и имеют еще более короткий период временной стабильности.

Чтобы исключить проблемы, связанные с различием периодов стационарности микросейсм в разных частотных диапазонах и конечностью этих периодов, целесообразно выполнять зондирование, взяв одну из точек на исследуемом полигоне в качестве опорной. Измерения в остальных точках сети при этом необходимо производить одновременно с опорной точкой, а результат измерений корректировать на опорную точку.

Данный прием позволяет решить проблему нормировки спектра, поскольку реальный микросейсмический спектр имеет сложную форму с областями повышений и провалов, а для зондирования предпочтительно иметь сигнал с унифицированными спектральными характеристиками. Отметим, что применение опорной точки позволяет выполнять зондирование даже двумя

сейсмическими станциями. При этом длительность измерений на каждой точке сети должна быть не меньше характерного периода стационарности микросейсм даже при обеспечении коррекции на опорную точку. Это необходимо для наиболее полного представления спектра зондирующего сигнала. Во всех нижеследующих практических примерах длительность измерений в точках сети составляла, приблизительно, 1-1.5 часа, что составляет оценку сверху периода стационарности микросейсм в исследуемом частотном диапазоне (0,03-1 Гц) [81].

Для контроля преобладающего типа волны в каждом конкретном месте исследований можно рекомендовать некоторые приемы:

- поляризационный анализ движения частиц,
- сравнение одновременно измеренных спектров микросейсм на дневной поверхности и в условиях заглубленной установки (если имеется такая возможность),
- прямую оценку значений кажущихся скоростей с помощью малой апертурной группы.

Параметры основных измерительных каналов аппаратного комплекса, который использовался в экспериментах, были следующими:

1) Низкочастотный измерительный канал:

- сейсмоприемник СМ-3 ОС, с системой обратной связи;
- частотный диапазон 0,03-15 Гц;
- базовая чувствительность датчика $4 \cdot 10^3$ В·сек/м;

2) Среднечастотный измерительный канал:

- сейсмоприемник СМ-3 в традиционном исполнении;
- коэффициент преобразования датчика 150 В·сек/м;
- затухание датчика 0,7;
- низкочастотный срез рабочей полосы формируется

характеристикой сейсмодатчика, собственный период которого может настраиваться в диапазоне 0,5-2,0 сек;

2.2.3 Результаты полевых экспериментов

С целью проверки новой технологии были спланированы целевые полевые эксперименты, где в качестве тестовой неоднородности выступали:

- система соляных куполов на участке Прикаспийского осадочного бассейна в пределах территории Астраханского газоконденсатного месторождения. Исследуемая территория хорошо изучена различными геофизическими методами, в том числе детально разведана бурением;
- вулканы в Таманской грязевулканической провинции. Здесь было впервые изучено глубинное строение вулкана Шуго и вулкана Горы Карабетова.

2.2.4 Исследование системы соляных куполов

Участок исследования имел размеры приблизительно 40x20 км². Он перекрывал Мало-Аральский соляной купол, который вместе с Аксарайским и Утигенским соляными куполами образует соляную стену с коленообразным изгибом, а также Аксарайскую и Южную межкупольные мульды. Кровля соляных куполов в высших точках залегает на глубине, приблизительно, 700 метров, а их основания уходят до глубин порядка 3800 метров. Надсолевой структурный этаж сложен двумя комплексами пород: от триасовых до палеогеновых и неоген-четвертичных. Межкупольные мульды являются компенсационными, имеют вытянутые округлые структурные формы и выполнены триасовыми, юрскими, меловыми и палеогеновыми отложениями. Мульды отличаются крутыми бортами и резким сокращением мощности соленосных отложений. Внедрение соляных масс в надсолевую толщу вызвало ее дислоцированность, особенно в прикупольных зонах [82].

Небольшая территория, предложенная для исследований сотрудниками ООО «Астраханьгазпром», содержала характерный седлообразный фрагмент Мало-Аральского соляного купола, точное местоположение которого заранее

не сообщалось. В работе приводится результат этапа. Было получено хорошее пространственное совпадение микросейсмической съемки и карты изогипс фрагмента соляного купола. Ожидаемый характер проявления объекта среди вмещающих пород в виде сокращения амплитуд микросейсм был подтвержден.

Территория месторождения и часть прилегающей территории были покрыты сетью измерений, в общей сложности, состоящей из 200 точек, среднее расстояние между пунктами измерений составляло 2-2,5 км. Измерения проводились отдельными приборами по принципу «точка за точкой» с коррекцией на опорную станцию. Примеры экспериментальных спектров мощности микросейсм в точках исследуемой площади показаны на рисунке 127.

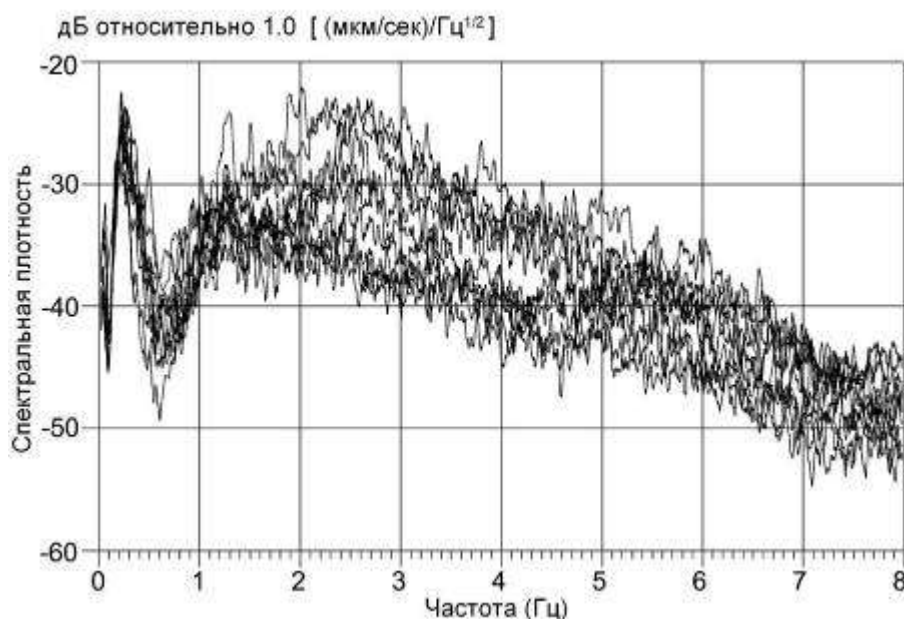


Рисунок 127 - Примеры экспериментальных статистически накопленных спектров в измерительных точках сети, скорректированных на временные вариации опорной точки. Обращает на себя внимание тот факт, что в области $f < 1$ Гц частотные вариации спектров достигают 20 дБ и более, в то время как их пространственные вариации не превышают 6-8 дБ.

На рисунке 128а приведена карта поверхности солевых отложений, полученная по данным разведочного бурения. Светлому тону соответствуют меньшие глубины залегания, темному - большие. Выделенные темными линиями три изогипсы соответствуют глубинам 1500, 1750 и 2000 метров.

Результаты картирования микросейсмического поля приведены на рис.

Здесь светлому тону соответствуют большие интенсивности колебаний, а темному тону меньшие. Спектральная частота, для которой приводится карта интенсивности микросейсмических сигналов, выбиралась по результатам сравнения между собой ряда карт, соответствующих различным частотам. Оказалось, что наилучшим образом реальной картине солевых отложений соответствует карта для частоты $f=0,235$ Гц.

Принимая значение скорости Рэлеевских волн $V_R=1000$ м/сек, что характерно для пород, заполняющих мульды [83] и, используя соотношение $H=0,5\lambda$, можно оценить глубину слоя, ответственного за формирование полученной микросейсмической картины. Эта глубина оказалась равной ~ 2 км, что хорошо соответствует реальному положению по глубине солевых построек в пределах зоны изучения.

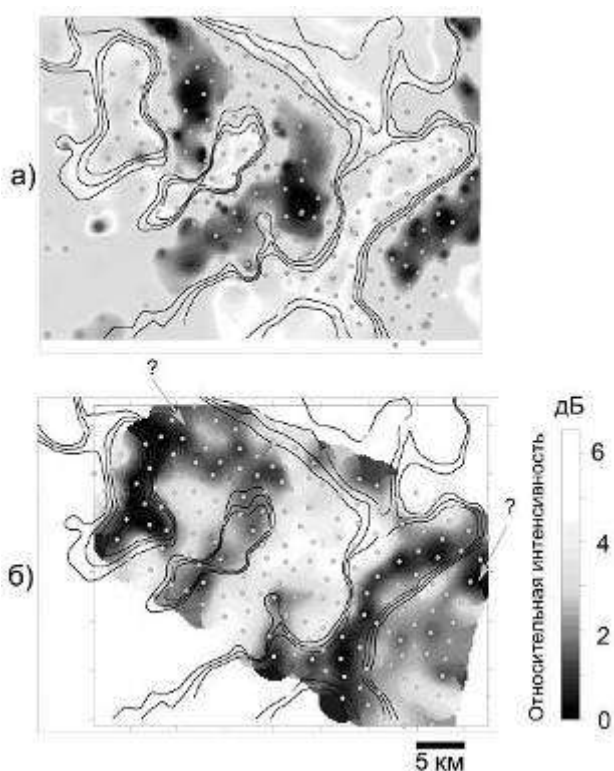


Рисунок 128 а) - Карта-схема кровли соляных отложений по данным бурения на территории Астраханского газо-конденсатного месторождения. Линиями выделены идущие подряд изогипсы глубин 1500, 1750 и 2000 метров. Тонем обозначены глубины, светлый тон соответствует меньшим глубинам залегания, темный тон - большим глубинам; б) Карта-схема пространственного распределения относительной интенсивности микросейсмического сигнала для спектральной частоты $f=0.235$ Гц. Серыми жирными точками на обеих картах обозначены места измерений микросейсм.

На карте микросейсмической интенсивности знаками вопроса отмечены две зоны, по своему характеру не совпадающие со строением соляных куполов. На данном же этапе можно высказать две гипотезы для объяснения полученного результата.

Во-первых, такие зоны несовпадения могут появиться из-за структуры самого зондирующего микросейсмического поля в этом регионе.

Во-вторых, наблюдаемые несовпадения могут наблюдаться из-за того, что карта поверхности солевых отложений не в полной мере отражает физические свойства пород.

Тем не менее, необходимо отметить хорошее совпадение рисунков, образованных изогипсами и микросейсмической интенсивностью для частоты $f=0,235$ Гц, что подтверждает гипотезу о характере влияния глубинных неоднородностей на поверхностное микросейсмическое поле. А именно, неоднородности с повышенными сейсмическими скоростями проявляются в поверхностном микросейсмическом поле над ними как зоны с пониженными амплитудами, а неоднородности с пониженными скоростями - как зоны с повышенными амплитудами.

2.2.5 Глубинное строение грязевого вулкана горы Карабетова

Грязевой вулканизм – удивительное и достаточно редкое природное явление, механизмы которого до сих пор не получили исчерпывающего объяснения. Сегодня можно считать установленной связь грязевого вулканизма с динамикой глубинных флюидов и наличием залежей углеводородов [84].

На территории России активная грязевулканическая деятельность наблюдается в первую очередь на Таманском полуострове, являясь неотъемлемой частью современной эволюции флюидо-магматических систем Северного Кавказа. Один из самых активных грязевых вулканов Тамани – гора Карабетова – на протяжении последних лет был и остается объектом

многодисциплинарных геолого-геофизических и геохимических исследований. Данный вулкан характеризуется взрывным типом извержений, периодически демонстрируя всю мощь этого, на первый взгляд безобидного природного явления.

Исследования крупных грязевых вулкана Таманской грязевулканической провинции, включая вулкан Горы Карабетова, вулкан Бугазский и др. предполагали изучение резонансных особенностей корневых структур и питающих каналов, с выделением сейсмических процессов, которые обусловлены, в том числе и нелинейными взаимодействиями, определяющими генерацию волновых форм, наблюдаемых в природе, их формирование и распространение.

В процессе проведения исследований нами были выявлены определяющие свойства изучаемых геологических образований, включая физические, геохимические и другие особенности геологической среды в районе с развитым грязевым вулканизмом, установлены наиболее существенные. Исследования показали, что деятельность крупных грязевых вулканов демонстрирует широкое разнообразие динамических процессов и наблюдаемых явлений, варьирующих от извержений взрывного характера до небольших пульсирующих выбросов брекчии.

Все эти процессы ярко проявились при пароксизмальном извержении и на последующих стадиях развития грязевого вулкана горы Карабетова.

Здесь были исследованы различные механизмы, характеризующие процесс извержения грязевого вулкана. Это, прежде всего, выделение из извергающегося грязевого потока компонент летучих и активное выделение брекчии.

Оба механизма определяют не только протекание геологических процессов в районе расположения грязевого вулкана, но и наблюдаемые резонансные взаимодействия, определяющие процесс шумообразования в окружающей вулканическую постройку геофизической среде. Проведенные в этом регионе сейсмические наблюдения яркий тому пример.

Установлено, что крупные взрывные извержения происходили в 1835, 1856, 1868, 1882, 1952 и 1982 годах и в начале нынешнего столетия [85]. Результатом последнего извержения явилось образование покрова размером около 2000² м, сложенного свежей брекчией (рисунок 129а,б).



Рисунок 129а - Вынос брекчии на одном из действующих конусов грязевого вулкана горы Карабетова. Грифон «Верхний».



Рисунок 129б - Вынос брекчии на одном из действующих конусов грязевого вулкана горы Карабетова. Грифон «Верхний». Крупный план.

Вынос грязи перемешанной с брекчией продолжался до сих пор, что увеличивает и без того внушительное поле разлива продуктов извержения.

В ходе полевых работ нами было выполнено детальное геолого-геоморфологическое картирование грязевого вулкана горы Карабетова, дополненное данными дистанционного зондирования. В результате удалось проследить тектонические деформации молодых форм рельефа и разнообразные проявления экзогенных геологических процессов на исследуемой территории. Одновременно были выполнены профильные

геофизические измерения с использованием метода микросейсмического зондирования.

Грязевой вулкан горы Карабетова представляет собой довольно высокое плато с системой отдельных сопок, расположенное на вершине пологой куполообразной возвышенности (145 м над уровнем моря). Вулканическая постройка сложена сопочной брекчией, на плоской вершинной поверхности разбросаны сальзы, грифоны и небольшие соленые озера (рисунок 132).

Вулкан приурочен к восточному периклинальному замыканию одноименной антиклинальной гряды. Основное ядро этой антиклинали сложено породами чокракского и караганского ярусов. В двух местах сводовая часть антиклинали прорвана интенсивно дислоцированными глинами майкопского возраста. Облекающие ядро складки слои чокракского и караганского ярусов падают под углами до $60 - 70^\circ$. Что же касается пород сармата, то на крыльях они быстро выполаживаются. Таким образом, антиклиналь имеет ярко выраженную диапировую структуру.

В расположении форм рельефа наблюдаются довольно четкие структурно-геологические закономерности. Грифоны и сальзы, как правило, приурочены к сводам антиклинальных складок или тектоническим разрывам. Большинство антиклиналей активны вплоть до настоящего времени, что выражается в глубоко врезанных балочных долинах, прорезающих складки и покрывающих склоны долин оползнях. Исключение составляет практически не проявленная в аномальном развитии экзогенных процессов, крайняя западная антиклиналь (рисунок 130). Отсутствие террас в бортах долин свидетельствует о медленном росте складок на протяжении всего четвертичного периода, не прерываемом резкими скачками большой амплитуды.

В целом, для рассматриваемой антиклинальной гряды характерно асимметричное строение; северное крыло ее более пологое по сравнению с южным, что позволяет предположить приразломный характер этой структуры. Эта особенность строения отмечалась и ранее [86]. Отдельным складкам, образующим гряду свойственны черты характерные для большинства

диапировых антиклиналей Таманского полуострова. Ядро складок прорвано сильно перемятыми, пластичными глинами майкопской серии. Более молодые слои вблизи ядра залегают обычно круто, по мере удаления от оси складок они выполаживаются а мощность их увеличивается. Однако в своде собственно Карабетовской складки приповерхностная часть ядра не прорвана майкопскими глинами. В то же время в выбросах грязевых вулканов Таманского полуострова, включая и гору Карабетова, нет обломков пород древнее олигоцена или майкопской серии. Этот факт можно связать с решающей ролью пород майкопской серии в формировании геологических структур, ответственных за возникновение грязевых вулканов. Ранее это обстоятельство подчеркивалось неоднократно. Речь идет о пластическом течении глинистого материала майкопской серии в горизонтальной плоскости и его нагнетании в ядра антиклинальных складок.

Таким образом, можно предположить, что формирование грязевого вулкана горы Карабетова и одноименной антиклинальной структуры связано с условиями близгоризонтального растяжения, действующими вдоль разрыва в оси этой складки. В таком случае близгоризонтальное растяжение ориентировано в близширотном направлении, а сжатие – в субмеридиональном. Такая ориентация осей деформаций находится в соответствии с реконструкцией поля напряжений для четвертичного этапа по данным геолого-структурных исследований и анализа фокальных механизмов землетрясений [88]. Отличительными особенностями изучаемой антиклинали являются ее север-северо-восточная ориентировка, несвойственная для типично диапировых антиклиналей гряды, имеющих северо-восточное простирание и глубокое (1 км) залегание майкопского диапирового ядра. Можно предположить, что такая ориентировка обусловила максимальную концентрацию растягивающих напряжений и наиболее благоприятные условия для разгрузки флюидного давления, в связи, с чем диапировое ядро протыкания не вышло на поверхность.

Геофизический профиль (рисунок 130) был заложен таким образом,

чтобы он по возможности перпендикулярно пересекал субмеридиональную систему разломов, а расстояние между соседними точками измерений составляло приблизительно 420 м. Здесь были произведены измерения на 19 точках. При планировании такой съёмки принималось во внимание, что оценочный размер геологического объекта, его глубина и характерные частоты микросейсм, «отзывающихся» на этот объект, должны быть согласованы между собой, а выбор параметров измерительных приборов должен производиться, исходя из ожидаемого частотного диапазона микросейсмических сигналов. В соответствии с технологией реализации метода микросейсмического зондирования параллельно с измерениями вдоль профиля передвижной станцией осуществлялась непрерывная регистрация микросейсмического сигнала на базовой станции, расположенной в поселке Волна на удалении порядка 10 км от горы Карабетова.

По результатам микросейсмического зондирования под вулканом горы Карабетова выделена относительно узкая, вертикальная низкоскоростная зона, ассоциируемая с насыщенным флюидами подводящим каналом. Область питания для подводящего канала по данным эксперимента находится на глубине 4,5 – 9 км (рисунок 131). Ниже контрасты сейсмических скоростей S-волн проявляются не так ярко, однако аномалия, ассоциируемая с областью питания, возможно, продолжается до глубины более 15 км. Это значит, что образование ядра диапировой Карабетовской антиклинали сложенной майкопскими глинами и грязевого вулкана можно интерпретировать как результат глубинных процессов, определяемых динамическими особенностями дилатансных структур.

Образование антиклинальной структуры связывается в таком случае не столько с региональным сжатием, сколько с реакцией перекрывающих майкопскую серию осадков на давление разуплотненных подвижных масс проникающих по разрывам.

На глубине примерно 800 – 1500 м выделяется низкоскоростная зона изометричной формы, которая определяет положение приповерхностного

грязевулканического резервуара (рисунок 131). Диапировое ядро обнаруживает крутое падение на север. Вероятно такое же положение в пространстве имеет, и зона разлома, с которой связана Карабетовская антиклинальная гряда (рисунок 132). Отметим, что глубинное строение Таманского полуострова ранее изучалось, однако имеющиеся материалы бурения и сейсмической разведки МОВ позволяют лишь в общих чертах установить характерные глубины залегания пород различного возраста.

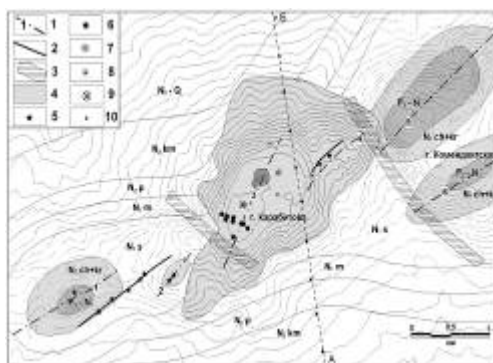


Рисунок 130 - Геологическая схема района горы Карабетова.

Горизонталы рельефа проведены через 5 м. Условные обозначения: 1 – оси антиклинальных складок и их номера; 2 – достоверно установленные разломы; 3 – разломы выделенные по структурно-геоморфологическим признакам; 4 – покров сопочной брекчии грязевого вулкана горы Карабетова; 5 – действующие грифоны; 6 – недействующие грифоны; 7 – сальзы; 8 – крупные конусообразные грифоны высотой несколько метров; 9 – центр взрывного извержения 6 мая 2001 г.; 10 – пикеты профиля микросейсмической съемки. P_3-N_1 – майкопская серия, глины; N_1ch+kr – чокракский и караганский ярусы, темно-серые глины с прослоями мергелей и известняков; N_1s – сарматский ярус, зеленовато-серые глины с многочисленными прослоями пористых мергелей и известняков; N_1m – меотический ярус, темные глины с прослоями мергелей и известняков; N_2p – понтический ярус, темно-серые, черные глины с прослоями рыхлых известняков, мергелей и песчаников; N_2km – киммерийский ярус, глины, пески с прослоями и линзами оолитовых железных руд в нижней части; N_2-Q – глины супеси, пески, в верхний части горизонт красно-бурых глин.

Установлено, что в интервал глубин 4,5 – 9 км условно связывается с распространением меловых терригенно-карбонатных пород. Нефтегазоносность терригенных, преимущественно глинистых нижнемеловых осадков установлена на многих месторождениях Предкавказья, в том числе и на Таманском полуострове (Фонталовское месторождение) [89].

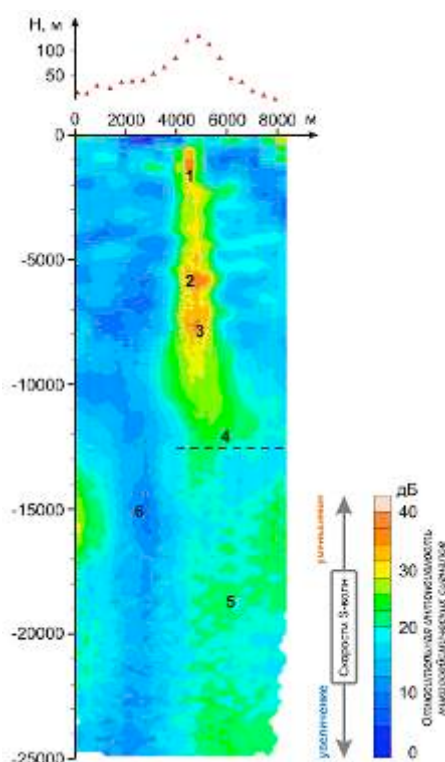


Рисунок 131 - Вертикальный геофизический разрез вдоль профиля микросейсмического зондирования (профиль АБ). 1 – близповерхностная грязевулканическая камера, 2, 3 – глубинные грязевулканические резервуары, 4 – область перехода к консолидированному фундаменту, 5 – глубинные флюидопроницаемые структуры, 6 – непроницаемые консолидированные породы. Над геофизическим разрезом показан профиль высот измерительных пунктов, условная система координат привязана к профилю. Тоновая шкала показывает относительную интенсивность реакции среды по разрезу на порождение Рэлеевских микросейсмических волн с различной глубиной проникновения. Увеличение интенсивности реакции среды соответствует пониженным значениям скоростей, уменьшение реакции – повышенным значениям скоростей S-волн.

Ниже, по всей видимости, залегают терригенные породы юры и переходный терригенно-карбонатный комплекс пермотриаса. Промышленная нефтегазоносность карбонатных отложений нижнего триаса доказана в Восточном Предкавказье, а притоки газа из нижнетриасовых известняков получены на западном погружении Майкопского поднятия. Следовательно, не исключена возможность их участия в генерации флюидов и в этом интервале глубин. Кристаллический фундамент на Тамани предполагается на глубине 13-15 км. В этом интервале происходит уменьшение контрастов сейсмических скоростей S-волн, выявленных по результатам микросейсмического зондирования.

Таким образом, в результате проведенных работ впервые получены геофизические данные о внутреннем строении грязевого вулкана горы Карабетова, выполнена их интерпретация совместно с геолого-геоморфологическими закономерностями формирования данного вулкана, установлена взаимосвязь региональной геодинамики и флюидной активности, а также прослежены пути миграции флюидов до глубин 15 – 25 км.

2.2.6 Исследование глубинного строения Ахтырской флексурно-разрывной зоны и грязевого вулкана Шуго

Вулкан Шуго - один из крупнейших и, пожалуй, самых красивых грязевых вулканов Таманской грязевулканической провинции. Расположен он на правом берегу одноименной реки в 6 км к югу от станицы Варениковской. При подходе к вулкану неожиданно перед глазами путешественника в небольшом углублении, окруженном буйной зеленью Кубани, открывается поистине часть лунного пейзажа.

Вулкан приурочен к вершине одноименной антиклинальной складки, сложенной меловыми и кайнозойскими отложениями. Он состоит из основного кратера размером 230-280 метров, округлой выпуклой формы, который хорошо выделяется серым цветом на фоне окружающего леса и другой растительности, и кольцевого вала, возвышающегося над кратером на 20-30 м, заросшего растительностью и прорванного в нескольких местах потоками грязебрекчии на востоке и юго-востоке.

Кратер вулкана Шуго единственный (в своем роде) в Таманской грязевулканической провинции. Его вулканическое поле в виде громадной чаши, которая полностью заполнена, в основном, свежей светло-серой сопочной брекчией с многочисленными глиняными потоками, имеет ряд действующих вулканических конусов. Структурно эта чаша, очевидно, представляет собой кальдеру проседания, что резко отличает вулкан Шуго от других грязевых вулканов Тамани и Северо-Западного Кавказа. Края ярко

очерченного кратера представляют собою покрытый лесом правильный кольцевой вал, прорезанный балкой с восточной стороны.

В середине чаши сопочная брекчия несколько вздута, а по периферии этого поднятия (на основном вулканическом поле диаметром более 100 м), покрытом свежей сопочной грязебрекжией, расположены отдельными цепочками и группами сопки, сальзы и грифоны, активно функционирующие. Кольцевой вал отделяется от кратера вулкана понижением шириной 20-50 м.

По периферии кратера располагаются как отдельные, так и объединенные в группы грифоны, извергающие разжиженную грязь и газ. В ряде случаев удается в излияниях наблюдать следы нефти. Склоны кольцевого вала круто наклонены в сторону кратера, вследствие чего между ним и центральным вздутием сопочной брекчии отчетливо выражена своего рода «кальдера проседания».

Опоясывающая вулканическую постройку «кальдера проседания», где благодаря атмосферным осадкам и стекающим продуктам извержения вулкана образовались небольшие, заросшие болотной травой водоемы. Артерией сноса накапливаемого изверженного материала служит балка, прорезавшая кольцевой вал.

Деятельность вулкана Шуго, расположенного в пределах Ахтырской флексурно-разрывной зоны, отличается постоянной сменой активных и спокойных периодов в течение длительного времени, систематическим выбрасыванием газов и сопочной грязи с незначительным содержанием грубообломочного материала.



Рисунок 132 - Вид на Вулкан Шуго. Общий вид, дающий представление о размерах вулкана.



Рисунок 133 - Фрагмент одного из действующих конусов вулкан Шуго.



Рисунок 134 - Вулкан Шуго. Современные грязепроявления. Боковой кратер, разрушенный мощным выбросом газа и брекчии.

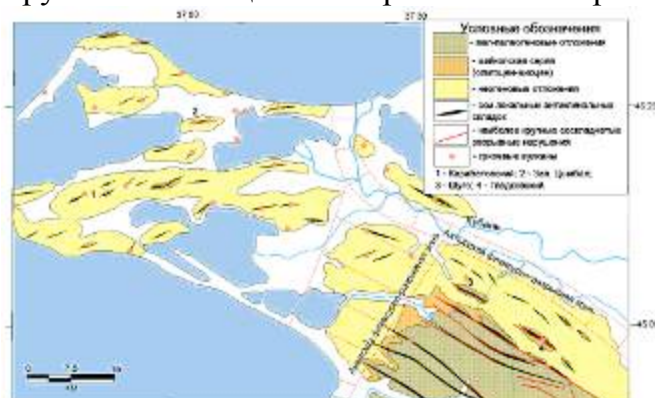


Рисунок 135 - Тектоническая схема Таманского полуострова и периклинального замыкания Северо-Западного Кавказа. 1 – мел-палеогеновые отложения; 2 – майкопская серия (олигоцен-миоцен); 3 – неогеновые отложения; 4 – оси антиклинальных складок; 5 – крупнейшие складчатые разрывные нарушения; 6 – грязевые вулканы: горы Карабетова (1); Западный Цымбал (2); Шуго (3); Гладковский (4). А-А1 – линия геофизического профиля 2006 года.

В настоящее время многие вопросы, связанные с приповерхностным геологическим строением, характером грязевулканической деятельности, химическим составом продуктов извержений вулкана Шуго подробно освещены в научной литературе, чего нельзя сказать о его глубинном строении. Отсутствие таких данных не позволяло создать комплексную геолого-

геофизическую модель недр в окрестностях вулкана Шуго.

В тектоническом отношении Таманская грязевулканическая провинция расположена на участке погружения орогенных складчатых структур мегантиклинория Большого Кавказа под слабодислоцированный кайнозойский чехол Таманского и Западно-Кубанского прогибов (рисунок 135). Антиклинальные гряды Таманского полуострова в направлении с запада на восток, меняют свое простирание с север-северо-восточного на субширотное, и затем на северо-западное, окаймляя периклинальное замыкание Кавказа.

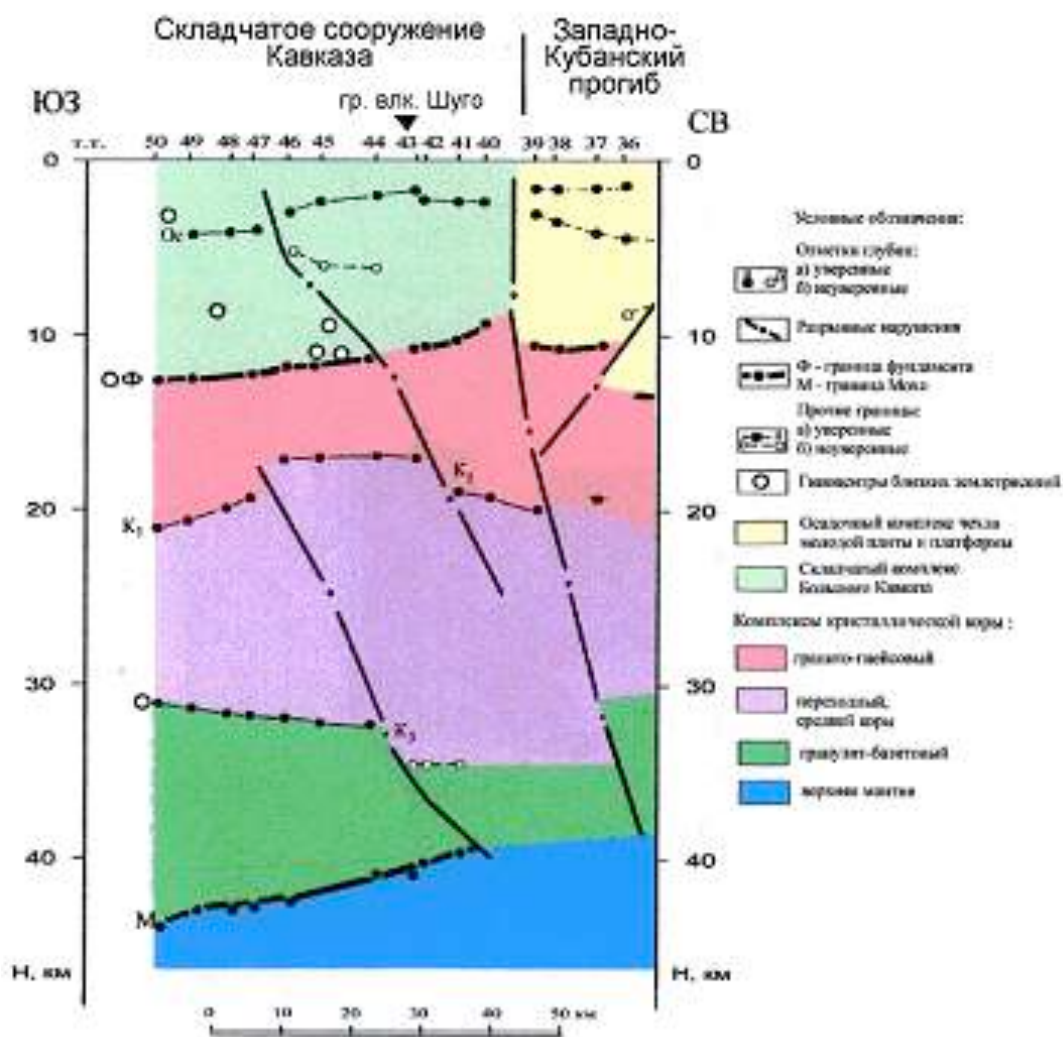


Рисунок 136 - Глубинный разрез по линии Ростов-Новороссийск [Е.Е. Золотов, И.Н. Кадури и др., 2001]. 1 – отметки глубин: а – уверенные, б – неуверенные; 2 – разрывные нарушения; 3 – границы обмена: а – поверхность фундамента (Ф) и Мохо (М), б – прочие; 4 – гипоцентры местных землетрясений; 5 – осадочный комплекс чехла молодой плиты и платформы; 6 – складчатый комплекс Большого Кавказа; 7-9 комплексы кристаллической коры: 7 – гранито-гнейсовый, 8 – переходный, 9 – гранулит-базитовый; 10 – верхняя мантия; 11 – изменение волновой картины.

К настоящему времени глубинное строение зоны сочленения складчатого сооружения Северо-Западного Кавказа и Западно-Кубанского предгорного прогиба, в пределах которой расположен вулкан Шуго, освещено благодаря данным, полученным при прохождении сейсмического профиля МОВЗ по линии Ростов-Новороссийск [Е.Е. Золотов, И.Н. Кадури и др., 2001]. Согласно этим данным мегантиклинорий Северо-Западного Кавказа отделяется от Западно-Кубанского прогиба глубинным сквозькоровым разломом, круто падающим под Северо-Западный Кавказ (рисунок 136). На глубине разлом принимает северо-восточное падение, т.е. погружается под Западно-Кубанский прогиб. Толща складчатого комплекса Большого Кавказа характеризуется мощностью 9-12 км. Внутрикоровые границы позволяют дифференцировать толщу консолидированной коры на три слоя, причем мощность переходного комплекса средней коры возрастает в два раза по сравнению с Западно-Кубанским прогибом. В толще коры в центральной части антиклинория выделяется разлом северо-восточного падения (Гладковский). Это нарушение на поверхности зафиксировано к юго-западу от вулкана Шуго, и приурочено к ядру Гладковской диапировой антиклинали. До настоящего времени считалось, что разлом имеет глубину проникновения порядка 35 км.

Северное крыло мегантиклинория Северо-Западного Кавказа, представленное Ахтырской флексурно-разрывной зоной образует структурную ступень, служащую переходом к впадине Западно-Кубанского прогиба. Слои отложений верхнего мела, палеогена и майкопской серии круто погружаются в сторону предгорного прогиба. Дизъюнктивными осложнениями флексуры северного склона являются разломы, выявленные в процессе геологических работ на Кавказе разными исследователями и подробно изученные геолого-геофизическими методами.

Черкесский (или Ахтырский) разлом, по новым геолого-геофизическим данным представляет собой вблизи поверхности флексурную зону, осложненную несколькими близвертикальными разломами, маскирующую реальное глубинное строение. На глубине флексура подстилается вдвигом,

полого падающим к югу и внедряющимся к северу в разрез Предкавказского прогиба в виде клина на уровне контакта нижнеюрских пород и комплекса молассовых и платформенных толщ пермотриаса. Ниже клина Черкесский разлом вначале полого, а с глубиной круче погружается в тело палеозойского кристаллического фундамента.

Грязевой вулкан Шуго расположен в пределах Ахтырской флексурно-разрывной зоны. В отличие от большинства грязевых вулканов региона, вулкан Шуго приурочен не к оси антиклинальной, диапировой складки, а к синклинальному понижению в коренных мелплиоценовых отложениях. Верхнеплиоценовые осадки в подножии грязевулканического конуса не задействованы в складкообразовательных процессах. Грязевулканическая постройка Шуго ассоциируется с разломом северо-восточного простирания. Разлом выражен в рельефе и влияет на экзогенные процессы. Юго-восточное крыло разлома поднято. Правосдвиговая компонента проявляется в смещении кольцевого вала, ограничивающего кальдеру вулкана.

В районе вулкана Шуго нами были проведены дополнительные комплексные геолого-геофизические исследования, включающие работы по глубинному зондированию зоны с использованием мета А.В. Горбатикова [А.В. Горбатиков, 2006]. Анализ полученных результатов выполнен с учетом приводимых ниже геологических данных.

К юго-западу от вулкана Шуго, поверхностные толщи верхнего мела, палеогена и неогена образуют диапировую Гладковскую складку, с крутым северо-восточным крылом. Мел-палеогеновые отложения в пределах этой структуры интенсивно деформированы и выжаты на поверхность [Е.В. Кудряшов, 1930], а ядро складки прорвано разломом (Гладковский разлом), который прослеживается согласно [90] на глубину порядка 35 км. Однако, результаты микросейсмического зондирования указывают на то, что Гладковский разлом не прослеживается на глубину 35 км, а начинает выполаживаться с глубины 3500-4000 м и достигает практически нулевого угла падения на глубине 8000-9000 м, подходя на северо-востоке от вулкана Шуго к

Ахтырскому разлому.

В отличие от рядом расположенного Гладковского грязевого вулкана, приуроченного к ядру Гладковской складки, грязевой вулкан Шуго приурочен к синклинальному понижению, расположенному непосредственно северо-восточнее Гладковской антиклинали.

Ядро синклинали разорвано разломом, который является его подводящим каналом. Этот разлом, падая круто с поверхности параллельно Гладковскому, выполаживается на глубине приблизительно 6 км, приобретая горизонтальное простирание, также сопрягается с Ахтырским разломом (рисунок 133).

Обращает на себя внимание близповерхностный флюидный резервуар, структурно приуроченный к синклинальной складке и повторяющий общие черты этой структуры.

Последнее обстоятельство, видимо, обуславливает поступление флюидов к вулкану Шуго в соответствии с механизмом артезианского источника. Довольно ярко выделяются источники флюидов в диапазоне глубин 3500-5000м.

Пересмотр концепции строения корней вулкана Шуго проведен с учетом результатов по изучению состава и возраста выбрасываемых вулканом пород. Среди выбросов привлекает внимание большое количество нижнемеловых сидеритовых конкреций и верхнемеловых фукоидных мергелей и известняков. Интересно отметить присутствие в выбросах вулкана обломков изверженных пород, главным образом кварцевых порфиров, и коралловых известняков юрского возраста. Эти породы также относят к нижнемеловым, среди которых известны конгломераты сложенные гальками размытых верхнеюрских изверженных пород.

В целом в выбросах грязевого вулкана Шуго преобладают меловые породы при подчиненном значении палеоценовых, верхнемиоценовых (сарматских) и плиоценовых (понтических и киммерийских) и полном отсутствии майкопских.

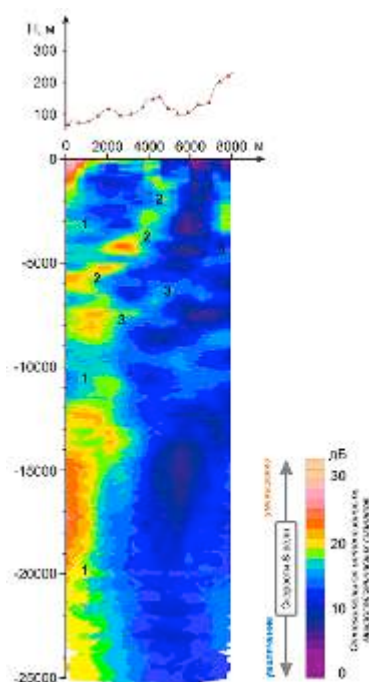


Рисунок 137 - Разрез по контрастам сейсмических скоростей вдоль профиля А-А1 (рис. 1) через грязевой вулкан Шуго. Увеличение относительной интенсивности реакции среды соответствует уменьшению сейсмических скоростей и наоборот. 1 – зона пониженных скоростей, ассоциируемая с Ахтырским разломом; 2 – зона пониженных скоростей, ассоциируемая с питающим разломом вулкана Шуго; 3 – зона пониженных скоростей, ассоциируемая с Гладковским разломом.

Проведенные нами исследования позволили изучить не только глубинное строение грязевого вулкана Шуго, но и уточнить глубинную структуру Ахтырской флексурно-разрывной зоны. В соответствии с полученными геофизическими результатами, строение Ахтырской зоны можно охарактеризовать как «структуру цветка» свойственную сдвиговым зонам [Sylvester, 1988]. Интенсивные горизонтальные перемещение по отдельным разрывам в пределах Ахтырской зоны подтверждаются и геолого-геоморфологическими методами.

Получаемые с применением технологии микросейсмического зондирования на волнах Релея разрезы отражают расположение и форму геологических неоднородностей во вмещающей среде по признаку контрастов сейсмических скоростей. На текущем этапе построение разрезов в абсолютных скоростях пока не еще достигнуто.

Пути развития новой технологии, видимо, будут лежать в

комплексировании подходов, характерных для «дисперсионной» и «статистической» групп исследований. Действительно, можно видеть, что необходимым этапом микросейсмического зондирования является экспериментальная оценка функции $V_R(f)$ - дисперсионная зависимость для фундаментальной моды Рэлея. На основе этой экспериментальной функции с учетом ряда допущений можно произвести оценку скоростного разреза, как это делается. В свою очередь, результаты амплитудного подхода можно использовать для локальной детальной коррекции скоростной модели первого приближения.

В практике функция $V_R(f)$ является результатом применения дисперсионных микросейсмических методов. Для этого используются либо многоканальные площадные группы, либо специальные корреляционно-накопительные методы, сокращающие минимально необходимое количество используемых станций. Однако, при определении местоположения геологических объектов микросейсмическое зондирование может достичь, по всей видимости, более высокого пространственного разрешения, чем дисперсионные методы. Это связано с тем, что дисперсионные подходы базируются на представлениях классической оптики, согласно которым, объекты с размерами меньшими зоны Френеля не могут быть зафиксированы волной. В то же время в специальном эксперименте на фрагменте Смоленского разлома показано, что горизонтальное разрешение оценивается величиной порядка 4% от длины зондирующей волны.

Амплитудный подход пока не дает абсолютных значений скоростей. В будущем предполагается провести исследование по выяснению возможностей оценки отклонения скоростей от усредненного разреза по данным о распределении относительной интенсивности колебаний микросейсм. Однако, необходимо отдавать себе отчет, что строгое решение обратной задачи в данной ситуации чрезвычайно сложно поскольку доступное наблюдению поле на поверхности представляет собой сильно вырожденную функцию.

В завершении отметим, что изученный частотный диапазон 0,03-1,0 Гц,

не ограничивается какими-то принципиальными соображениями.

Например, в диапазоне выше 1 Гц данный подход можно с успехом применять в ряде задач, имеющих инженерно-строительное значение. Частотный диапазон ниже 0,03 Гц также принципиально не отличается от исследованного диапазона, но работа с такими низкими частотами связана с техническими проблемами создания и полевой эксплуатацией специальных сейсмических датчиков и с подготовкой мест для их установки.

Эта частотная область особенно интересна, поскольку предоставляет возможность исследовать глубины в сотни километров.

При проведении работ в штольне Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН мы использовали весь диапазон. Здесь в качестве регистратора использовалась мобильная измерительная система типа Рефтек (производства США) и специализированные сейсмические приемники СМ-3 ОС, разработанные в России.

Они имеют характеристики, которые соответствуют лучшим мировым аналогам.

В качестве примера на рисунке 138 приведен пример записи шума, создаваемого электровозом, который два раза в сутки завозит смену ученых в лаборатории подземной обсерватории (рисунок 139а).

Рабочий момент по установке отдельных элементов этой линейной антенны показан на рисунок 391а,б,в.

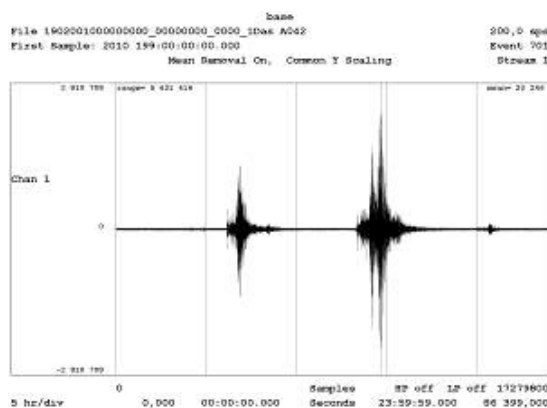


Рисунок 138 - Запись сейсмических шумов электровоза получена в лаборатории №2 сейсмоприёмником СМ3-ОС. Время GMT. Движение электровоза в 04:10 (08:10 по местному времени) и в 04:50.



а



б



в

Рисунок 139 - Рабочий момент по установке отдельных элементов низкочастотной линейной антенны в штольне. Здесь: а – доставка отдельного автономного элемента низкочастотной сейсмической антенны в точку установки; б,в – аспирант кафедры Чрезвычайных ситуаций КБГУ Дударов Залим настраивает прецизионный сейсмометр (слева) под руководством д.ф.-м.н. Собисевича А.Л. (справа).

При проведении работ по разворачиванию подземной линейной сейсмической антенны, созданная нами низкочастотная мобильная информационно-измерительная система использовалась с одной стороны как дополнительный модуль, информация которого позволила более точно локализовать источники возмущений в районе Эльбрусской вулканической области, а с другой – с ее помощью удалось оценить уровни сейсмических шумов в частотном диапазоне, где рационально применять новый метод глубинного зондирования.

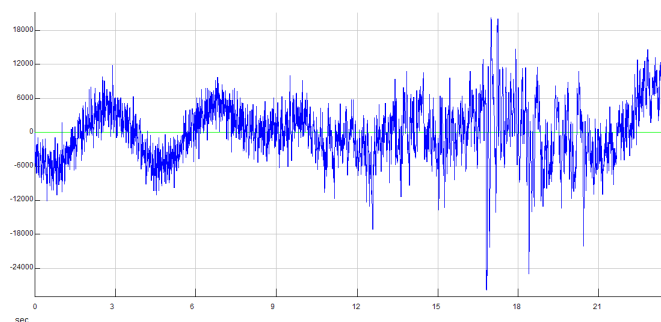


Рисунок 140 - Местное сейсмическое событие 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), зарегистрированное в лаборатории №2 сейсмоприёмником СМЗ-ОС (низкочастотный). Без фильтрации. Характерные микросейсмические шумы с периодом около 5 с.

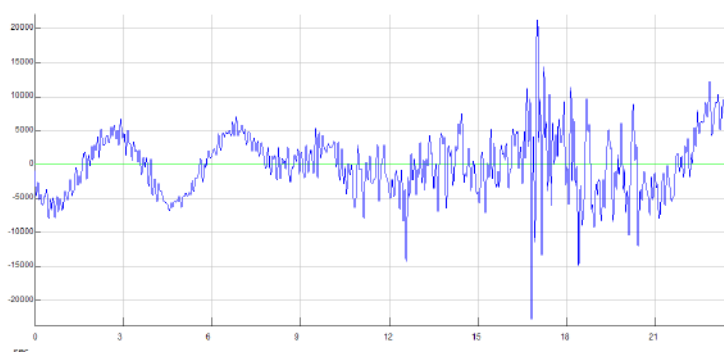


Рисунок 141 - Местное сейсмическое событие 17 июля 2010 г. Начало записи – 17:00 (GMT), зарегистрированное в лаборатории №2 сейсмоприёмником СМЗ-ОС (низкочастотный). Полосовой фильтр: 0,03 – 10 Гц.

Сейсмограммы, получаемые при помощи созданной нами мобильной информационно-измерительной системы, в полной мере определяют тонкую структуру сейсмического поля в исследуемом регионе.

В этом можно убедиться, обратившись к рисунку 135, на котором зафиксировано местное сейсмическое событие. Отчетливо удастся наблюдать волновые формы характерных микросейсмических шумов с периодом около 5 секунд.

Соответственно, на рисунок 141 это событие уже профильтровано в диапазоне 0,03 – 10 Гц. Здесь видно, что длительность его не превышает 10 секунд, а это значит, что мы должны отнести его к горным ударам.

Рассмотрим еще несколько примеров.

На рисунках 142–144 приведены записи местного землетрясения, полученные различными сейсмическими датчиками.

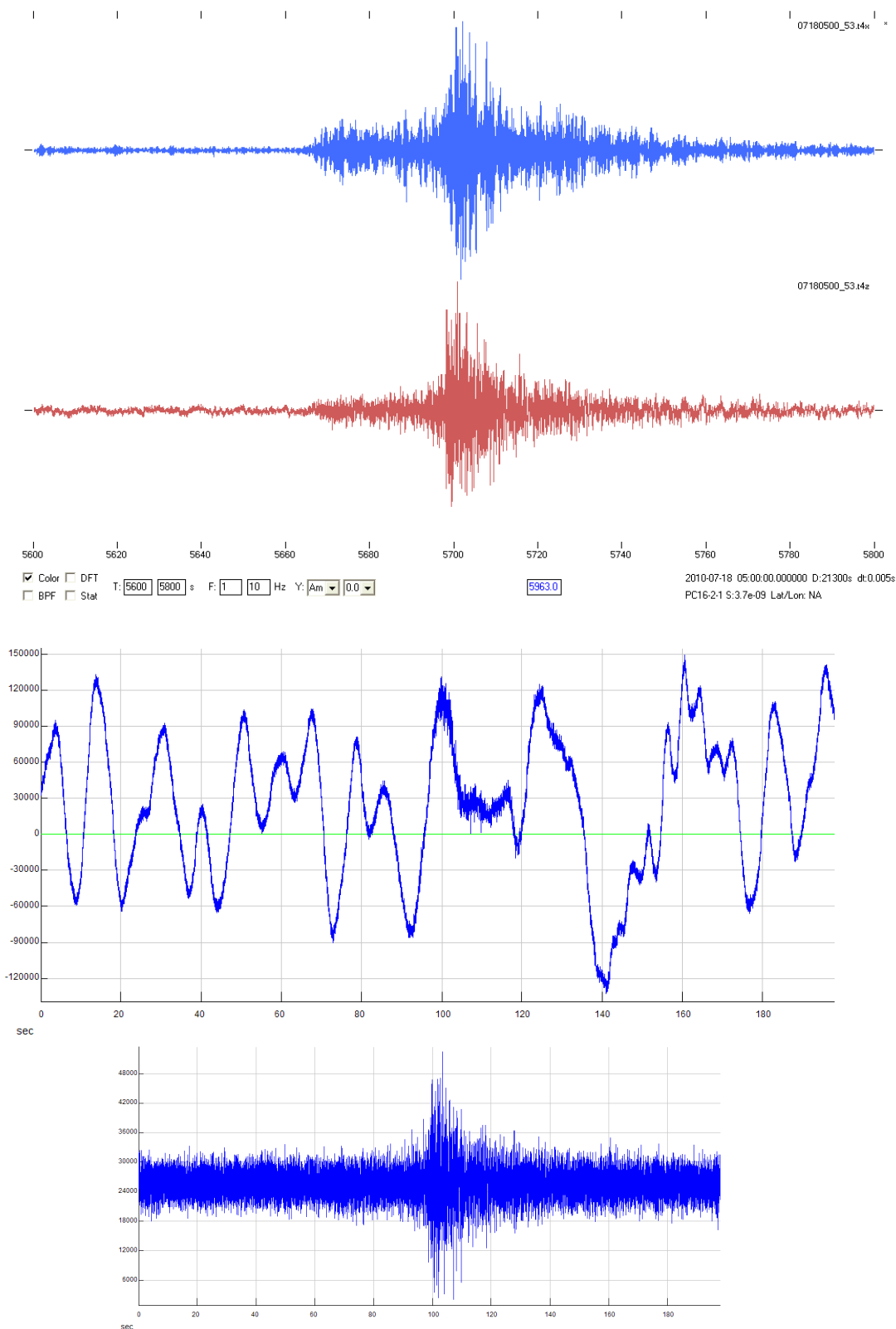


Рисунок 142 - Местное землетрясение 18.07.2010, зарегистрированное датчиком Т4 сейсмической антенны и сейсмоприёмником СМЗ-ОС мобильной системы, время 06:33:20 + 200 с, запись без фильтрации и с фильтром 1 – 10 Гц.

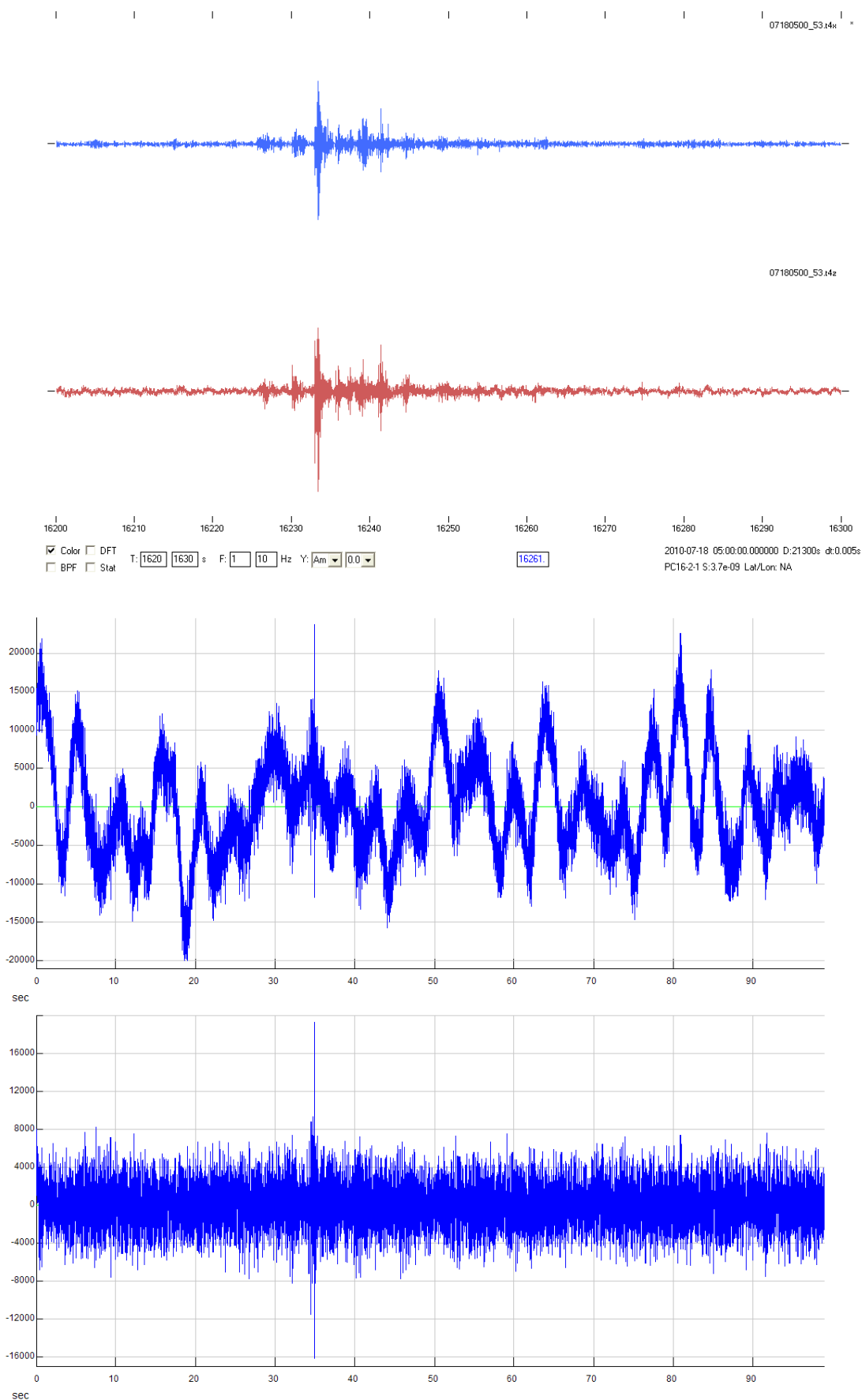


Рисунок 143 - Местное землетрясение 18.07.2010, зарегистрированное датчиком Т4 сейсмической антенны и сейсмоприёмником СМЗ-ОС, время 09:30:00 + 100 с, запись без фильтрации и с фильтром 1 – 10 Гц.

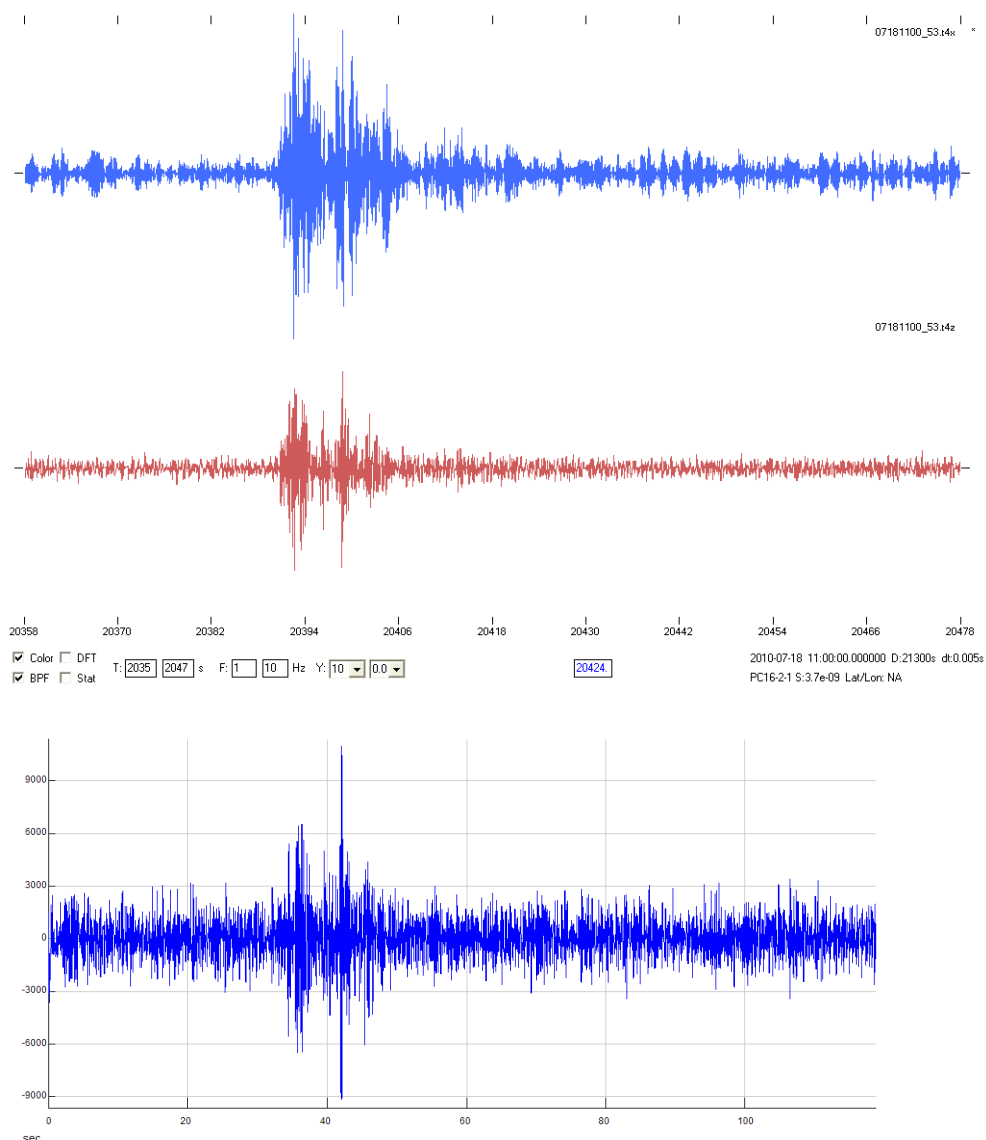


Рисунок 144 - Местное землетрясение 18.07.2010, зарегистрированное датчиком Т4 сейсмической антенны и сейсмоприёмником СМЗ-ОС, время 16:39:18 + 120 с, фильтр 1 – 10 Гц.

На приведенных записях отчетливо удастся наблюдать отличия в характере регистрируемых сейсмических сигналов. Местные высокочастотные сейсмические события слабо отражаются на записях мобильной низкочастотной системы. Эта особенность была нами использована при расшифровке экспериментальных данных получаемых подземной линейной сейсмической антенной.

В 2010 году работы по регистрации микросейсмического излучения были проведены нами и в конце штольни Баксанской нейтринной обсерватории (углубление 4 км 400 метров под гору Андырчи на высоте 1700м.), где наблюдаются парогидротермы. Установлено, что этот уникальный по

сложности дробления блоковый узел создает условия, благоприятные для локализации парогидротерм.

Главной отличительной особенностью наблюдаемых парогидротерм является двухфазное (пар и вода) состояние теплоносителя в очаге разгрузки. В результате удается выделить высокочастотные импульсные шумы, которые генерируются перегретыми водами, которые вскипают на глубине. На уровне вскипания происходит пароотделение, дегазация, резкое падение температуры. Деятельность парогидротерм сопровождается сложными физико-химическими процессами. Ниже зоны вскипания происходит ошелачивание гидротерм, а выше образуется «паровая шапка», в которой идут процессы формирования кислых агрессивных вод. Характер проявления парогидротерм трещинно-жильный, при этом его активная деятельность связана с зонами повышенной тектонической трещиноватости.

Однако эта проблема была нами только затронута. Ее изучение требует постановки специальной НИР в плане продолжения работ по теме настоящего проекта.

Испытанные нами два типа подземных информационно-измерительных систем могут быть использованы для совместной интерпретации. При этом необходимость проведения дальнейших исследований включает:

- анализ сейсмических шумов с целью определения поверхностной скоростной модели;
- сравнение сейсмического шума на двух группах;
- анализ данных по землетрясениям разными методами, особенно для событий записанных двумя группами;
- поляризационный анализ продольных и поперечных волн для локальных и региональных землетрясений;
- поляризационный анализ сейсмических шумов.

Хотелось бы также остановиться на вновь употребляемой нами терминологии. В отчете используется термин «микросейсмическое зондирование». Это сделано, с одной стороны, чтобы подчеркнуть, что

технологически полевые измерения напоминают метод магнито - теллурического зондирования с той разницей, что вместо электромагнитных шумов используются сейсмические.

Таким образом, развертывание первой в России подземной мобильной линейной сейсмоакустической антенны во вспомогательной штольне Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН и применение созданных авторами работы новых мобильных низкочастотных информационно-измерительных систем, дополняющих эту антенну показали, что их комплексное использование обеспечивает оперативный мониторинг состояния вулкана и сейсмических процессов в регионе на основании измерения флюктуаций геофизических полей.

Глава 3 Проведение экспедиции, связанной с развертыванием четвертой лаборатории в верховьях реки Кубань (Эльбрусский вулканический центр)

Верхне-Кубанский геодинамический полигон ВСЕГИНГЕО Министерства природных ресурсов России, расположен в 30 км к западу от подножья вулкана Эльбрус в пределах развития его батолита. 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.

3.1 Общие сведения о Верхне-Кубанском гидрогеодинамическом полигоне

Структурное подразделение – Партия геодинамических процессов Земельный отвод 0.4 га, закреплен за ВСЕГИНГЕО решением Исполнительного комитета г. Карачаевска № 774 от 1990г и переутвержден в пользование на правах аренды на 49 лет с ноября 2006г., зарегистрирован Карачаево-Черкесской Государственной Регистрационной палатой № Ф-116 от сентября 2006г.

За полигоном закреплены:

1. Лабораторный 2-х этажный корпус $S=160 \text{ м}^2$;
2. 7 наблюдательных скважин, из которых 5 - опытно-методических, 2 скважины региональной наблюдательной сети ГГД-мониторинга (3021, 3022);
3. Три пункта газгидрогеохимических наблюдений за эксгаляциями легколетучих газов глубинного генезиса из водного флюида и почв региональных разломов (Радон и гелий);
4. Семь пунктов измерений линейных деформаций и порово-пластового давления в скважинах и горных выработках.
5. Дизельная;

6. Склад-ангар.

Лабораторно-техническая база:

1. Измерительные комплексы «Логгер» с беспроводной телеметрией – 4 шт.
2. Телеметрический комплекс с проводной телеметрией 100м. – 1 шт.
3. Персональные компьютеры 486, Pentium 2 Notebook Hewlett Pasckard и Pentium-3 MMX, 600 MHz; FP 51G Series, A8N-SLI-SE 184-din, 256 MB/
4. Газоанализаторы гелия (ИНГЕМ-1) – 1шт. и радона (Альфа – РАД и РГА-1) – 2 шт;
5. Датчиковые группы порово-пластового давления и линейных деформаций (измерительный комплекс - Периодомер цифровой портативный (ПЦП) – 1 шт.
6. Скважинная акустическая станция – 1шт.

Транспортные средства:

- УАЗ 31514 номерной знак О-066 МВ-90
- УАЗ 396252 номерной знак У-196 МТ90

Прочие технические средства:

Дизельэлектростанция Д – 5.0 КВт.

Численность персонала – 9 человек, из них 7– полевая группа, 2 чел. – камеральная группа.

Объем финансирования в 2009 г. – 2230 тыс. руб.

Начальник партии - Э.П. Потемка, кандидат технических наук.

Из 10 человек персонала полигона, высшее образование по профилю работ, или близкое к нему имеют 5 человек.

В административном отношении полигон размещен в Карачаево-Черкесской республике в 35 км к югу от г. Карачаевска, в верховьях р. Кубань на абсолютных отметках 1200 м. Ближайший населенный пункт пос. Эльбрусский.

Деятельность полигона осуществляется на основании Технических (геологических заданий), утвержденных проектов и распорядительных документов ВСЕГИНГЕО.

Верхне-Кубанский полигон создан в 1989г. по плану развития специализированной наблюдательной региональной сети ГГД-мониторинга.

Функциональное назначение полигона:

- решение задач, связанных с опробованием новой измерительной
- техники и внедрения ее в региональные сети ГГД-мониторинга;
- создание и опробование автоматизированных систем сбора, хранения, обработки и передачи информации;
- поиск новых предвестников землетрясений на основе анализа изменений геофизических, геохимических и других полей.

В функции полигона входит также ведение комплексных режимных наблюдений по семи скважинам и пунктам специализированной региональной сети.

Исключительно сложные условия напряженно-деформированного состояния крупных блоков земной коры в пределах Северного Кавказа, а также индивидуальные особенности, связанные с близостью вулканической структуры Эльбрус (30км от западного склона) обусловили направление исследований, проводимых на полигоне. Это, прежде всего:

- изучение аномальных эффектов, связанных с особенностями геолого-структурных позиций (вулкан Эльбрус, зона современных максимальных поднятий и активизированных экзогенных процессов, близость к поперечному Транскавказскому поднятию);
- ведение наблюдений по расширенной программе с целью поиска новых предвестников сильных землетрясений на основе комплексных гидрогеологических, геофизических и гидрогеохимических технологий;
- опробование, совершенствование и внедрение в практику ГГД-мониторинга новых технологий и современных измерительных средств;
- повышение квалификации кадров, занятых в этой системе.

На основе проводимых исследований на полигоне был создан и опробован автоматизированный участок и составлена схема размещения ПН региональной сети Северного Кавказа, опробованы методы и технологии для

решения геодинамических задач в регионе.

Положение полигона в пределах центрального сегмента Кавказа позволяет контролировать геодинамическую обстановку по вариациям геофизических, гидрогеологических и геохимических параметров для большей части региона.

Наблюдательная сеть полигона создавалась с учетом возможности максимального использования существующих гидрогеологических скважин при объявлении повышенной опасности и чрезвычайных ситуаций в регионе.

Материалы полигонных наблюдений позволяют оценивать не только опасность проявления сейсмических событий высоких магнитуд, но и возможность активизации различного рода эндогенных и экзогенных процессов.

Для обоснования создания и выбора места заложения Верхне-Кубанского полигона на территории Северного Кавказа были проведены обследования гидрогеологических скважин, буровые работы, геофизическое и геохимическое профилирование, а также заверочные геоструктурные, гидрогеологические, газгидрогеохимические съемки и геофизическое профилирование.

Учитывая географо-экономическую развитость территории и результаты ранее проведенных исследований на полигоне его можно рассматривать как наиболее перспективным объектом для постановки комплексных задач геодинамического мониторинга. Обилие на данной территории минерализованных источников тесно связано с эксгаляциями углекислого газа из батолита вулкана Эльбрус и легко летучих и растворимых в воде газов глубинного генезиса. Сформированная наблюдательная сеть полигона охватывает четыре структурные элемента: передовой прогиб (скв.3021 и источник Джеркли), шовная зона Северокавказского разлома (опытно-методические скважины ВК6,7,8,9,10,11,12), Бечасынская зона горстантиклинория (рудник Эльбрусский и скважина ВК-4 «Гиляч») и южная окраина Скифской плиты (скважина 3022).

По состоянию на апрель 2009 года на полигоне развернута сеть,

состоящая из 7 скважин глубиной от 20 до 200 м, и одного источника углекислых вод, оборудованного под газо-гидрохимические исследования. Под наблюдением за УПВ находятся скважины: 3021 и 3022, входящие в состав региональной сети, остальные экспериментальные скважины ВК-9, ВК-10, ВК-11, ВК-12 и резервные скважины ВК-1 и ВК-4 “Гиляч” в системе наблюдений не задействованы. Скважина ВК-9 на глубине 23 м вскрыла напорные углекислые минерализованные воды типа “Нарзан” с высоким содержанием стронция, превышающим ПДН в 14 раз. Эта скважина поставлена под газо-гидрогеохимический контроль. Скважина ВК-7 глубиной 23 м и диаметром 12d подготовлена для установки скважинного наклономера. На данный момент в ней установлены датчики порово-пластового давления и линейных деформаций. По состоянию на 2009 год пять опытно-методических скважин не задействованы в систему наблюдений, а 19 скважин в горных выработках бывшего рудника Эльбрусский оборудованы деформографами, но по состоянию на декабрь 2000 года выведены из эксплуатации в связи с изменениями объемов финансирования. Скважины для установки автоматизированных измерительных комплексов по состоянию на апрель 2009 г. имеют защитные сооружения. Защитные сооружения съемные и обеспечивают постоянство температур не ниже -5°C - зимой, и не выше 20°C – летом и возможность чистки скважин и проведения гидродинамических исследований. В 2008г на полигоне построен геофизический павильон с бетонными постаментами на коренных породах для установки геофизической аппаратуры. В нем можно установить сейсмометрическую и магнитовариационную аппаратуру. Вся приборно-аналитическая база полигона обеспечена инструкциями ведения наблюдений и эксплуатации приборов.

3.2 Установка геофизических приборов на полигоне ВСЕГИНГЕО

Во время экспедиционных работ на полигоне было откалибровано имеющаяся аппаратура, а также установлены новые геофизические приборы.

На полигоне установлены:

1. Магнитно-вариационная станция (МВС).
2. Наклонометрическая станция.
3. Измеритель E_z компоненты электрического поля.



Рисунок 145 - Общий вид МВС установленная на постамент.



Рисунок 146 - Сруб для постамента магнитновариационной станции.
Для регистрации наклонов земли на полигоне установлена наклонометрическая станция.

МВС предназначена для измерения вариаций трех компонент вектора магнитной индукции поля Земли. Она установлена на бетонный постамент отлитый на выходах коренных пород. 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 147 - 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.

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°C на километр).



Рисунок 148 - Измеритель E_z компоненты электрического поля.



Рисунок 149 - Вид скважины ВК 11 с установленной термокосой.

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

Результаты, полученные в ходе проведенных полевых экспериментов с использованием стационарных и мобильных аппаратурных геофизических комплексов Кавказской геофизической обсерватории, дают все основания для продолжения исследований и анализа собранных данных, как по местным землетрясениям и вулканическим процессам, так и по сейсмическому шуму. Подтверждено, что подземная группа сейсмических приёмников (антенна) – эффективное средство для сейсмического мониторинга в вулканической области. Поэтому необходимо развивать новые исследовательские проекты с целью установки стационарной многоканальной цифровой сейсмической антенны и последующего развития технологий анализа сейсмических сигналов, получаемых в реальном масштабе времени.

3.3. Анализ результатов натуральных наблюдений, полученных аппаратными комплексами, установленными в районе Верхнекубанского полигона

Аппаратурные комплексы установленные в районе Верхнекубанского полигона зафиксировали несколько интересных сейсмических событий, которые позволяют получить новые знания о глубинных процессах в эпицентральных зонах.

В 2010 году 06 апреля в районе Северной Суматры произошло новое цунамигенное землетрясение. По данным Геофизической службы РАН магнитуда этого события составила: $m_s=7.8$, $m_b=6.8$, а глубина 33 км.

Данные наклономеров и результаты расшифровки полученных магнитных записей представлены на рисунках 150 – 153.

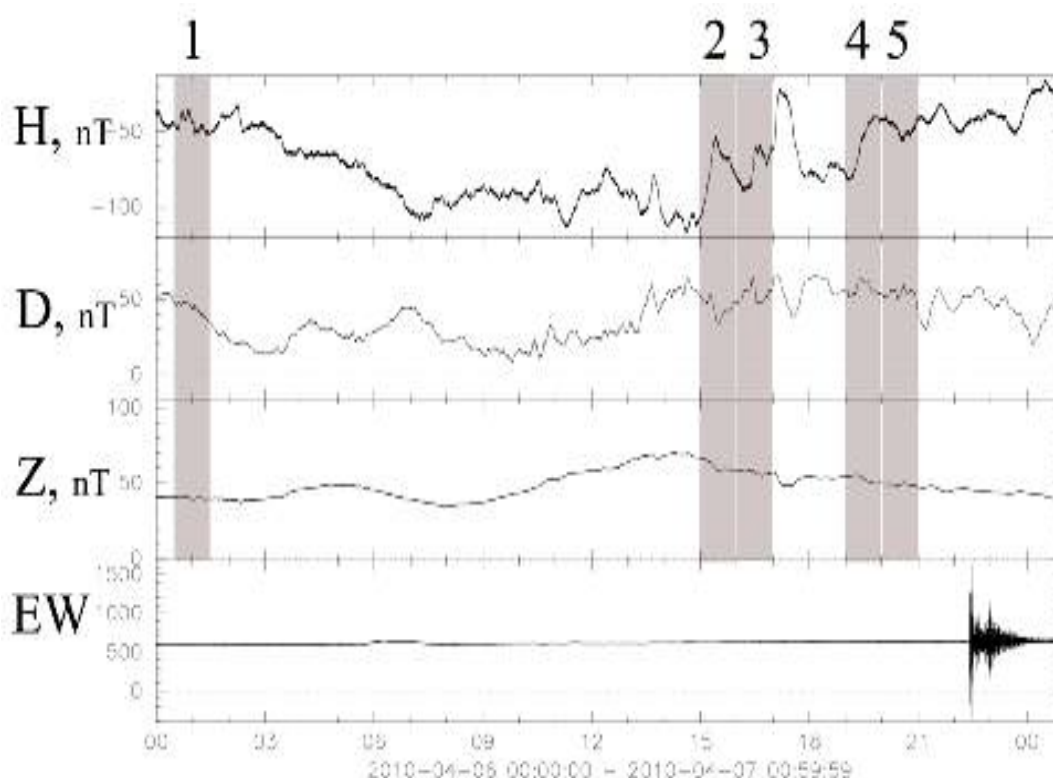


Рисунок 150 - Показания наклономера в направлении запад-восток и вариации магнитного поля Земли, зафиксированные в течение суток на этапе подготовки сейсмического события 06.04.2010 в районе Северной Суматры.

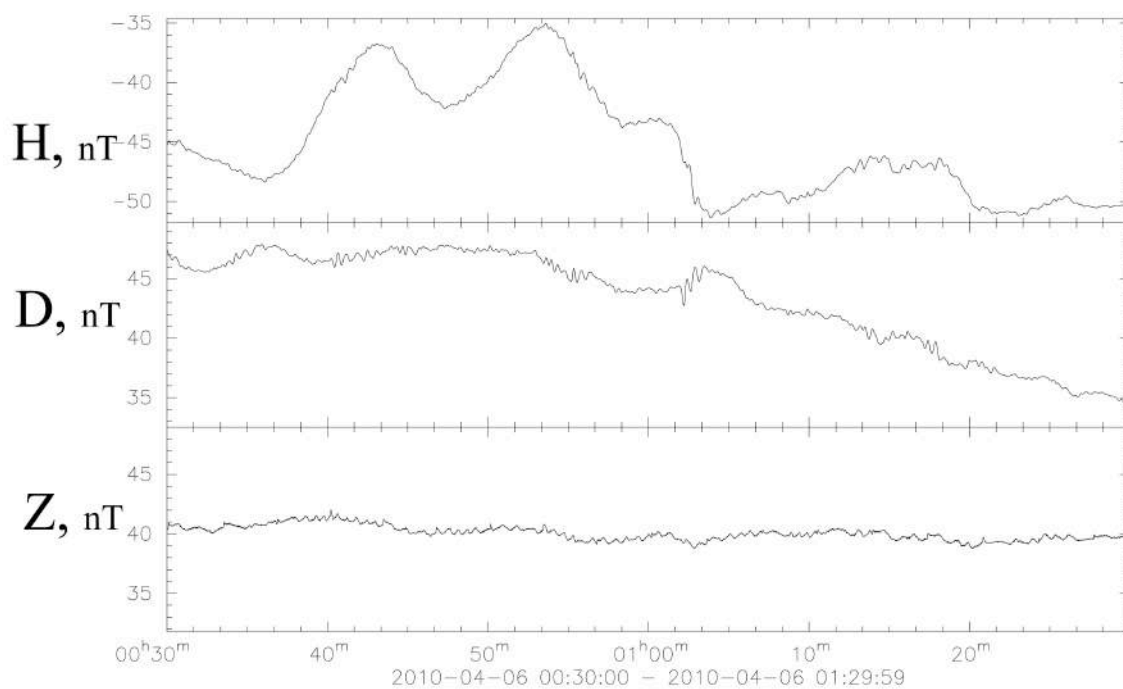


Рисунок 151 - Фрагмент вариаций магнитного поля Земли, зафиксированный за 22 часа до первого удара 06.04.2010 в районе Северной Суматры.

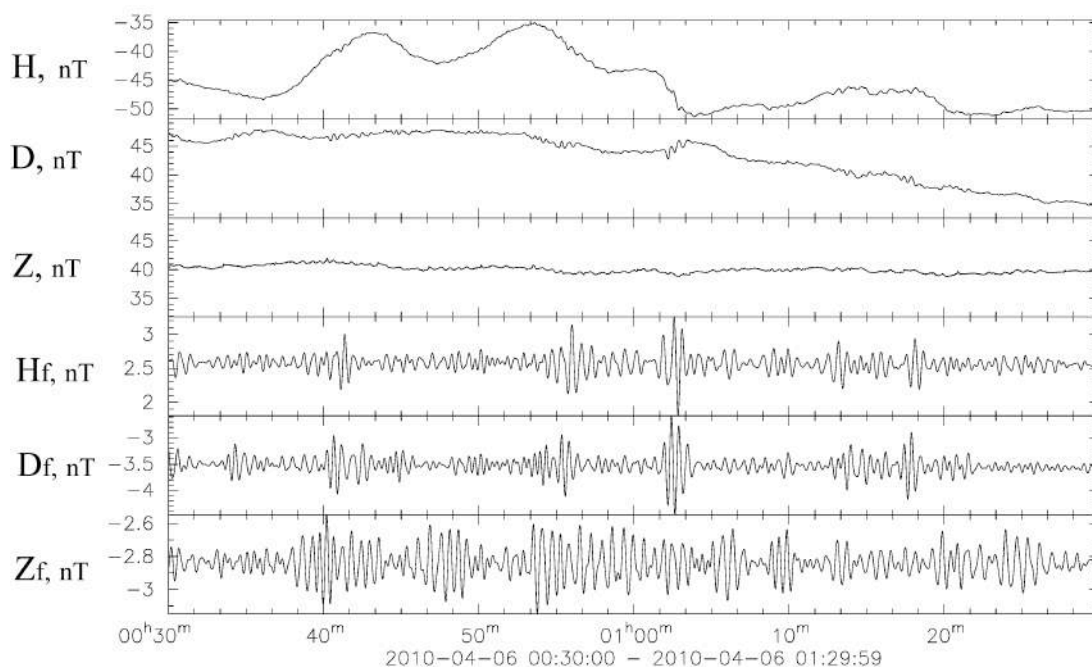


Рисунок 152 - Фрагмент вариаций магнитного поля Земли, зафиксированный за 22 часа до первого удара 06.04.2010 в районе Северной Суматры и отфильтрованная структура магнитного возмущения. Полосовой фильтр (20-50 секунд).

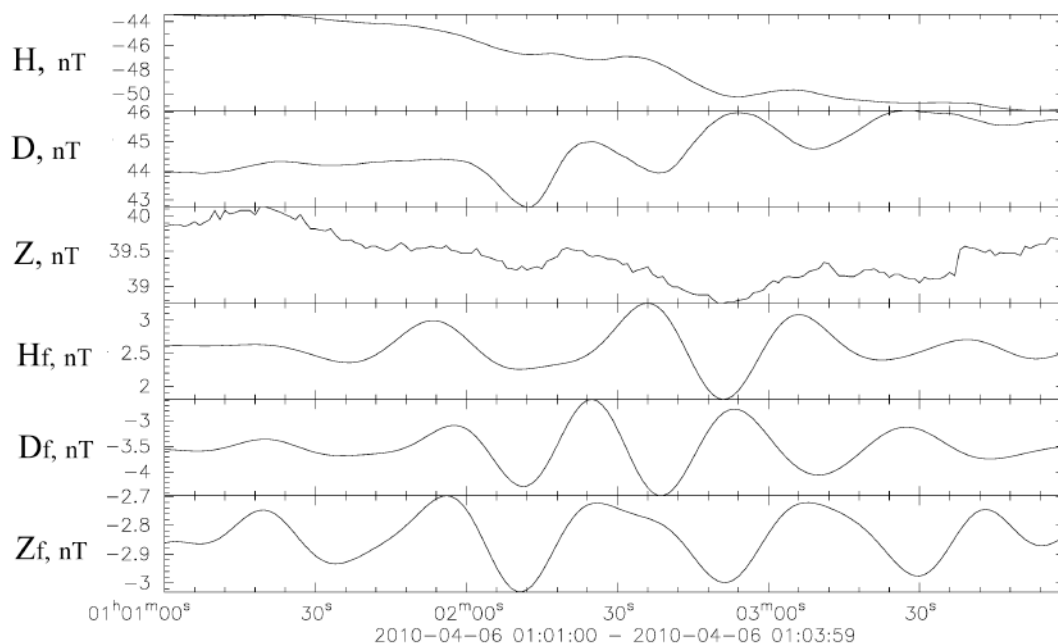


Рисунок 153 - Пульсации в вариациях магнитного поля Земли за 22 часа в увеличенном масштабе и отфильтрованная (тонкая) структура магнитного возмущения. Полосовой фильтр (20-50 секунд).

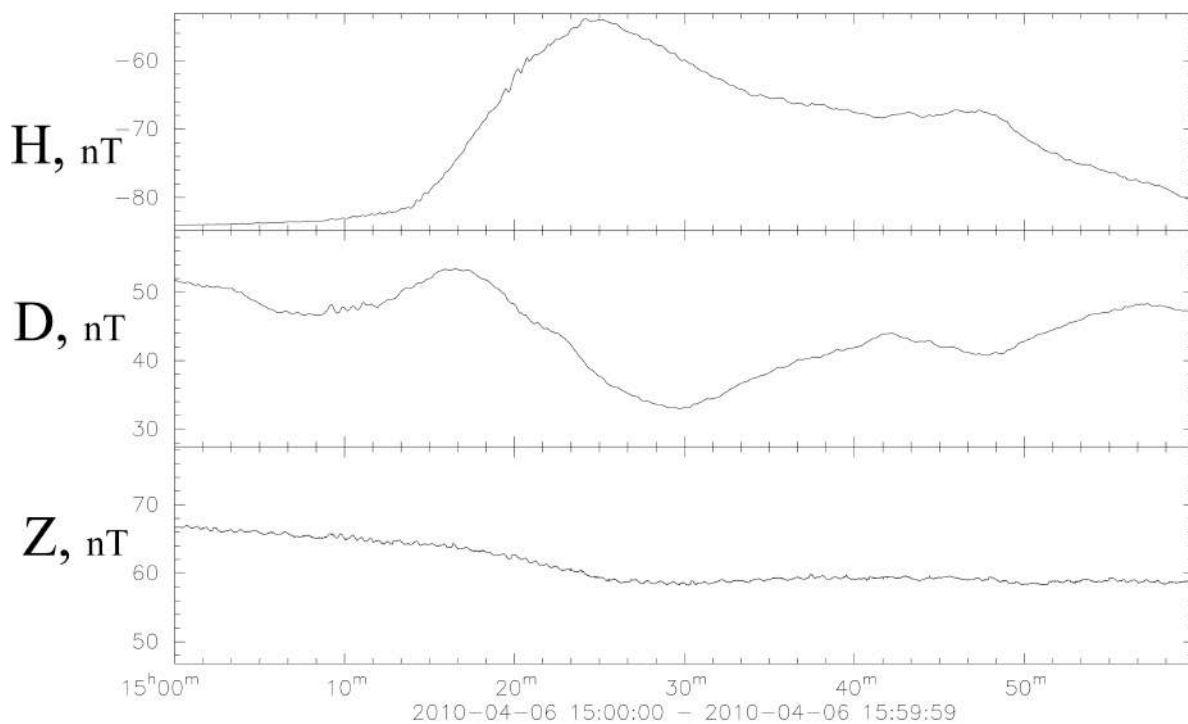


Рисунок 154 - Фрагмент вариаций магнитного поля Земли, зафиксированный за 7 часов до первого удара 06.04.2010 в районе Северной Суматры.

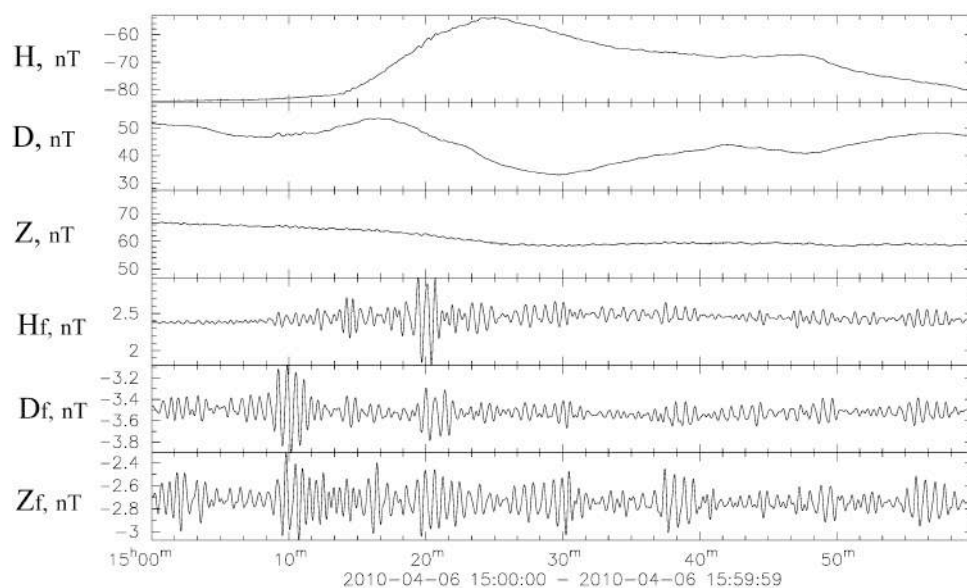


Рисунок 155а - Фрагмент вариаций магнитного поля Земли, зафиксированный за 7 часов до первого удара 06.04.2010 в районе Северной Суматры и отфильтрованная структура магнитного возмущения. Полосовой фильтр (20-50 секунд).

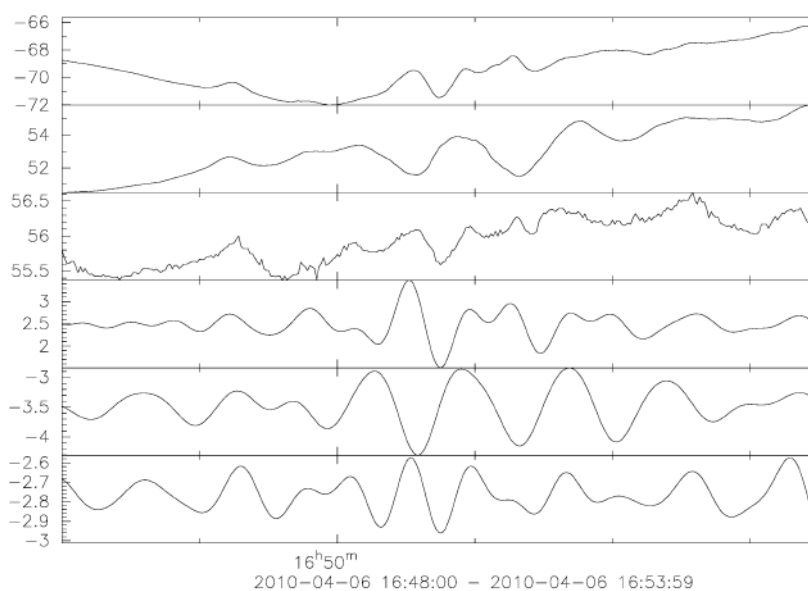


Рисунок 155б - Пульсации в вариациях магнитного поля Земли за 7 часов в увеличенном масштабе и отфильтрованная (тонкая) структура магнитного возмущения. Полосовой фильтр (20-50 секунд)

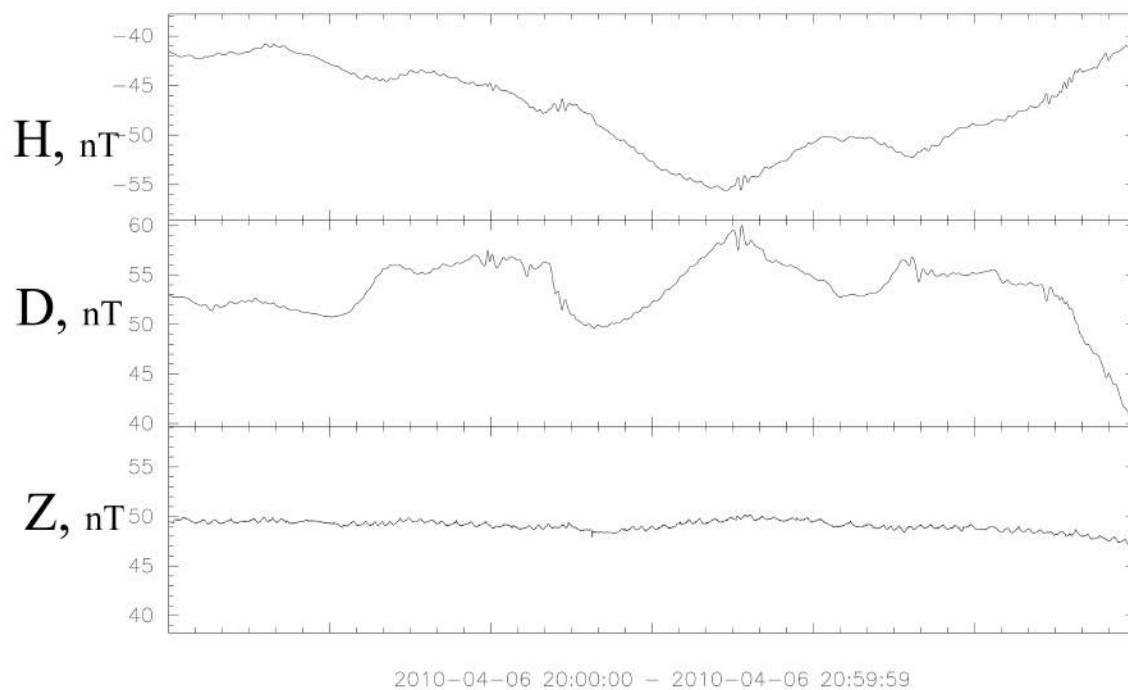


Рисунок 156 - Фрагмент вариаций магнитного поля Земли, зафиксированный за 1 час до первого удара 06.04.2010 в районе Северной Суматры.

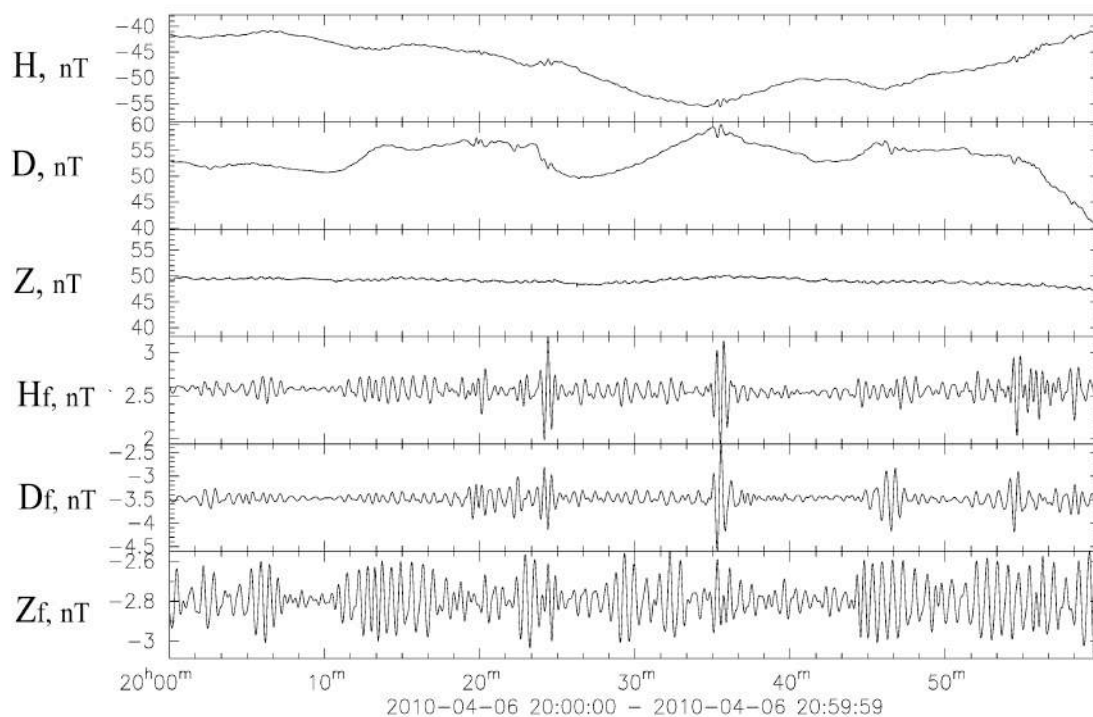


Рисунок 157а - Фрагмент вариаций магнитного поля Земли после полосового фильтра (20-50 секунд) за 1 час до первого удара 06.04.2010 в районе Северной Суматры

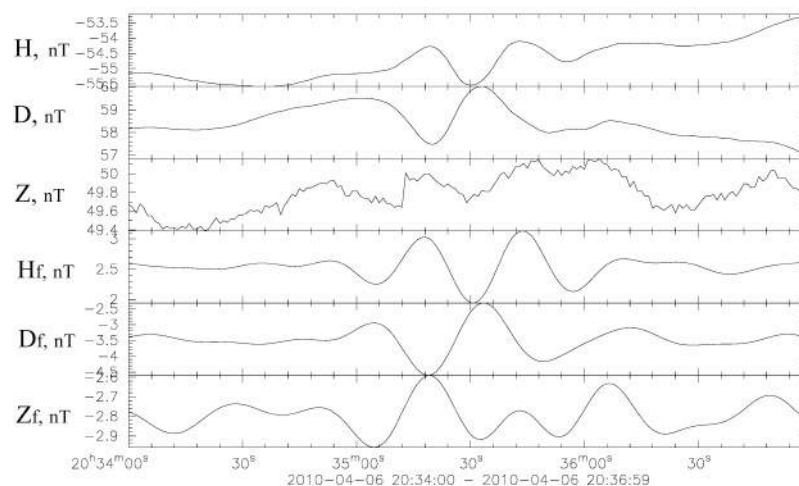


Рисунок 1576 - Пульсации в вариациях магнитного поля Земли за 1 час в увеличенном масштабе и отфильтрованная (тонкая) структура магнитного возмущения. Полосовой фильтр (20-50 секунд)

Анализируя последовательно развитие сейсмического процесса и появление сопутствующих (наведенных) магнитных возмущений можно отметить, что их тонкая структура носит хорошо выраженный квазипериодический характер волновых форм в пределах каждого возмущения, а основной период, который в среднем составляет для этого землетрясения 35-30 секунд, имеет некоторую тенденцию к уменьшению по мере приближения главного удара. Это новый результат, отражающий динамизм дилатансных структур перед главным сейсмическим ударом.

Здесь следует отметить, что трансформация основного периода внутри отдельного магнитного возмущения определяется районом, в котором произошло сейсмическое событие, а это значит, что причина лежит в структуре резонансных особенностей отдельностей дилатансного типа, составляющих в совокупности эпицентральною зону.

Теперь обратимся к сейсмическому событию, которое произошло на Западном Кавказе. Эти данные представлены ниже на рисунках 158-163.

Принятые обозначения:

BAKEW- вариации наклонов в диапазоне 2-200 секунд в относительных единицах (БНО).

BAKH, BAKD, BAKZ- вариации магнитного поля Земли в нТл (БНО).

BAKHf, BAKDf, BAKZf - вариации магнитного поля Земли в нТл в диапазоне 20 – 200 секунд (БНО).

KUBEW- вариации наклонов в диапазоне 2-200 секунд в относительных единицах (верхнекубанский полигон).

KUBH, KUBD, KUBZ- вариации магнитного поля Земли в нТл (верхнекубанский полигон).

KUBHf, KUBKDf, KUBZf - вариации магнитного поля Земли в нТл в диапазоне 20 – 200 секунд (Верхнекубанский полигон).

Таблица 11 - Данные геофизической службы РАН

Дата	Время	Место	m s	mb	Глубин a	Широт a	Долгот a
07.06.2010	9:26:52.0	Западный Кавказ		4,5	10	42,76	41,57

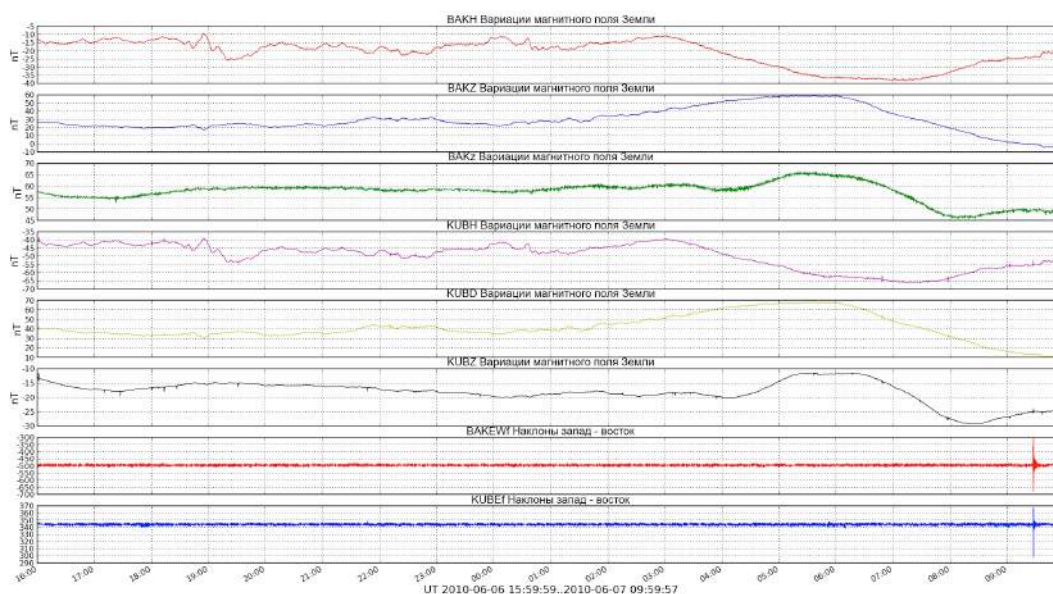


Рисунок 158 - Сейсмическое событие, которое произошло на Западном Кавказе.

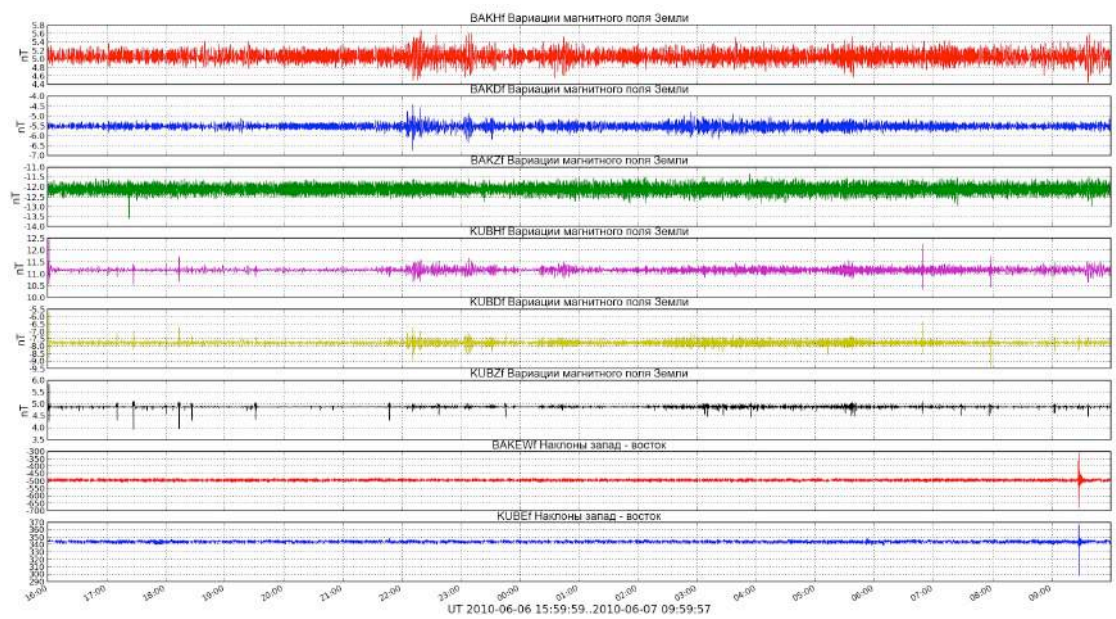


Рисунок 159 - Сейсмическое событие, которое произошло на Западном Кавказе.

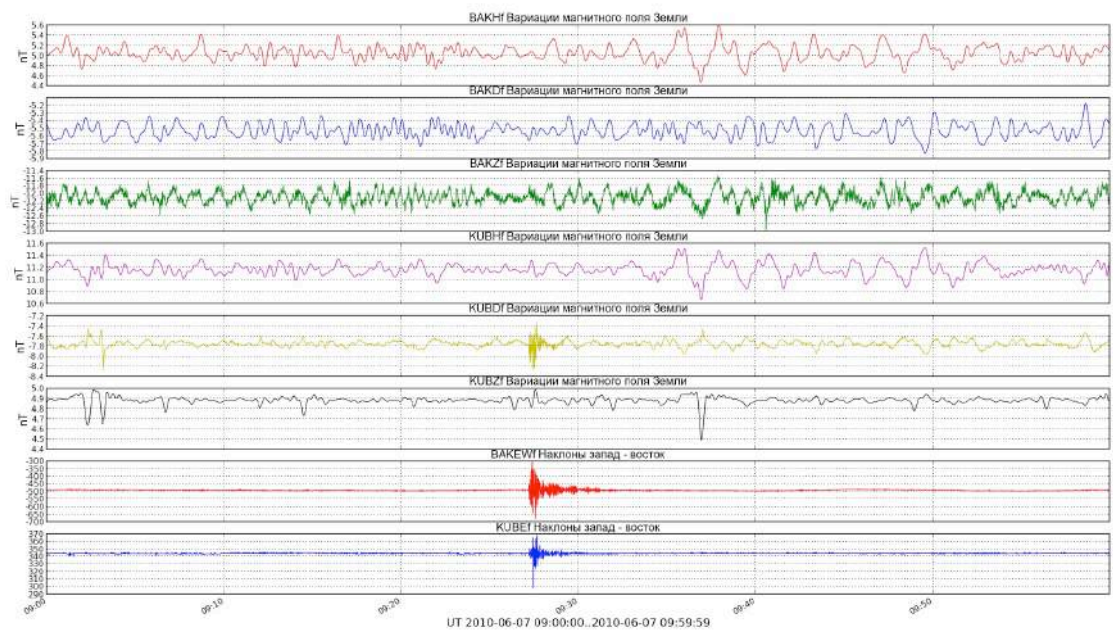


Рисунок 160 - Сейсмическое событие, которое произошло на Западном Кавказе.

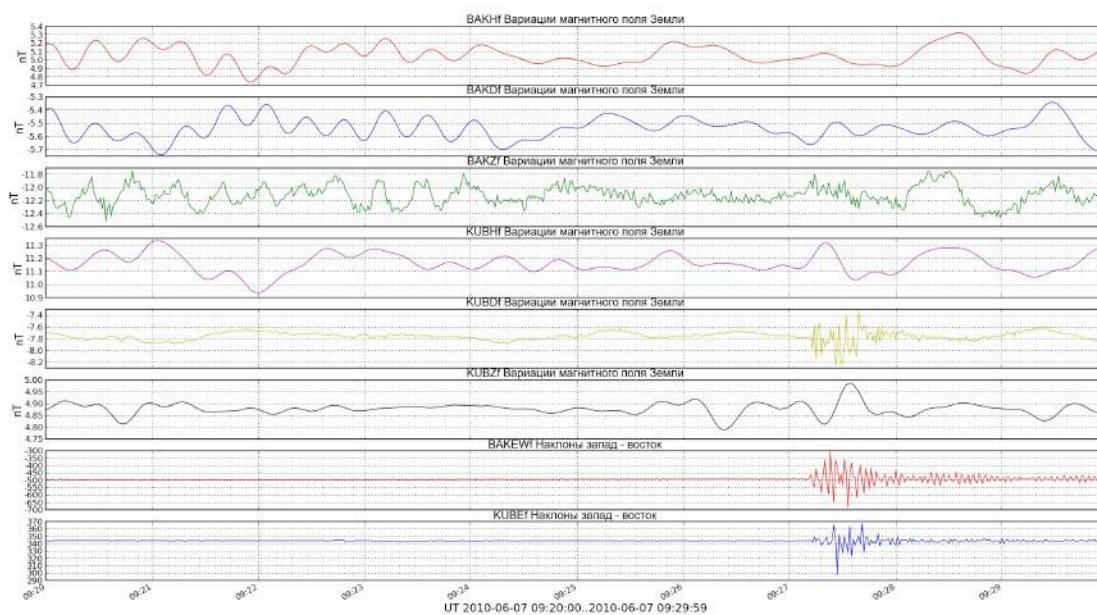


Рисунок 161 - Сейсмическое событие, которое произошло на Западном Кавказе.

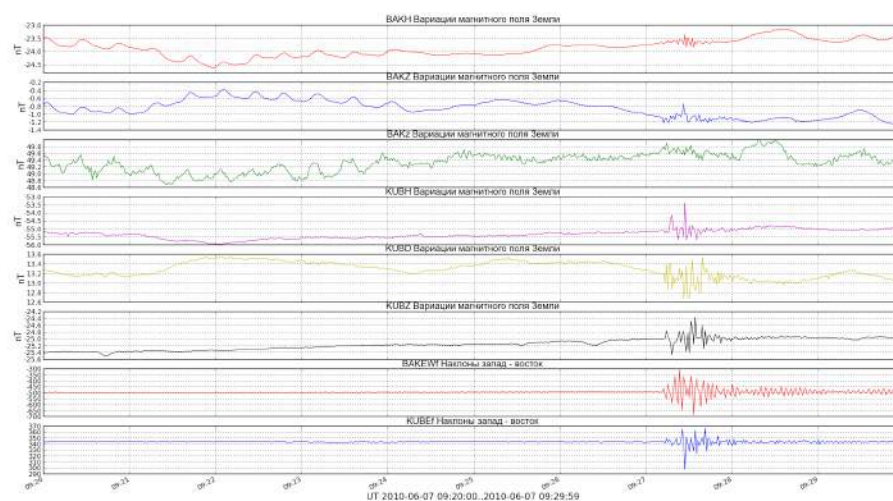


Рисунок 162 - Сейсмическое событие, которое произошло на Западном Кавказе.

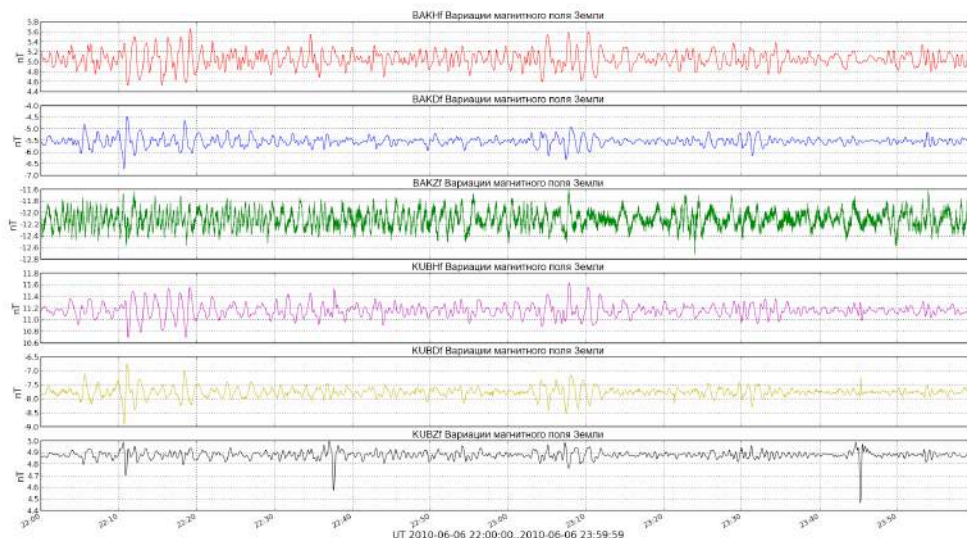
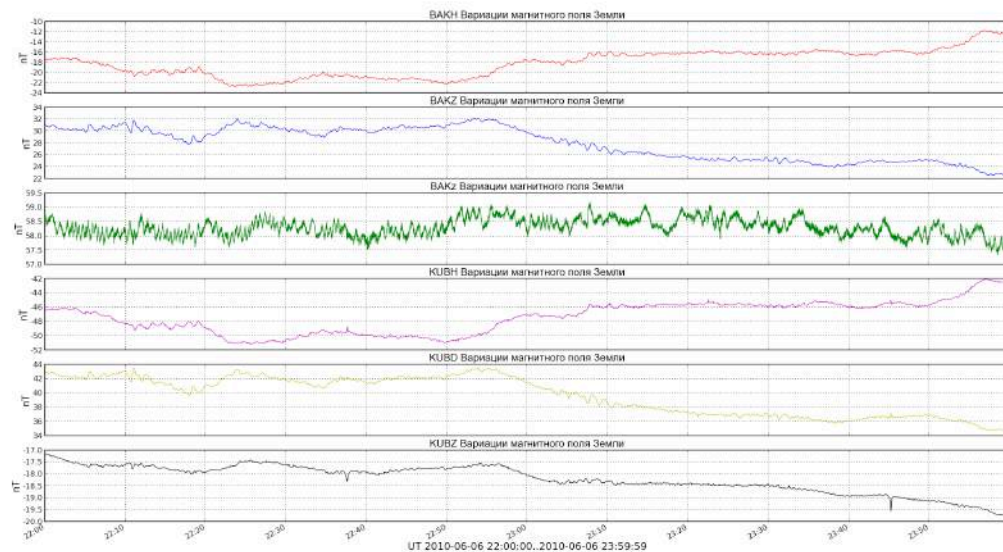


Рисунок 163 - Сейсмическое событие, которое произошло на Западном Кавказе. Анализируя расшифрованные записи сейсмического и магнитовариационного каналов, установленных здесь информационно-измерительных систем, отметим высокое качество полученной прогностической информации. Дальнейшая обработка и расшифровка полученных данных требует проведения дополнительных полевых работ в эпицентральной зоне записанного сейсмического события.

Глава 4 Проведение технико-экономической оценки полученных результатов

Сейсмические и вулканические катастрофы, потрясающие нашу планету, поставили перед учеными ряд сложных задач, связанных с необходимостью создания надежных методов прогнозирования стихийных бедствий. Характеризуя сложившуюся в этой области обстановку, необходимо отметить, что в настоящее время следует переходить на новый уровень аппаратных геофизических исследований, когда предпочтение отдается постановке и проведению комплексных наблюдений в сейсмоопасных и вулканопасных регионах России. Сбор и анализ необходимой информации остается при этом приоритетной задачей, решение которой требует создания нового поколения геофизических приборов.

Однако, отмечая важность совершенствования аппаратной базы экспериментальной геофизики, необходимо помнить, что следует уделять достаточно внимания и решению актуальных прикладных проблем геофизики, имеющих целью обеспечение безопасности населения и важных промышленных объектов на территории Российской Федерации. В этой связи развитие существующих и создание новых технологий прогнозирования катастрофических событий остается приоритетной задачей, которая нашла отражение в отчете.

Исследования в рамках проекта охватывали широкий круг задач, ответственных за развитие катастрофических событий на Северном Кавказе. Полученные новые научные результаты подтверждают, что вулкан Эльбрус находится сейчас в активной стадии своего развития и в этой связи может быть отнесен к действующим вулканам с датировкой извержений в историческое время. Однако полное представление о происходящих процессах, протекающих внутри вулканической постройки, удалось получить только на основе детального многопараметрического геофизического аппаратного мониторинга.

Завершен полный цикл работ, связанных с созданием Северо-Кавказской геофизической обсерватории, которая строилась на базе комплексной геофизической информационно-измерительной системы Кабардино–Балкарского государственного университета (КГФИИС КБГУ). Международный опыт создания и эксплуатации подобных систем в районах развитого вулканизма показывает, что такая обсерватория должна иметь в своем составе сеть специализированных геофизических лабораторий, оснащенных современными приборами. Часть приборов была закуплена за счет средств настоящего проекта. Ряд уникальных приборов были разработаны и изготовлены исполнителями проекта при бескорыстной помощи ряда академических институтов. В результате проведения НИР уже получены принципиально новые геолого-геофизические данные, отражающие развитие катастрофических процессов в районе Эльбрусского вулканического центра и на прилегающих территориях. Разработаны программные продукты и сформулированы требования к режимным измерениям, проводимым в развернутых лабораториях с использованием комплексной геофизической информационно-измерительной системы Кабардино–Балкарского государственного университета (КГИИС КБГУ)», которая органически влилась в развиваемую на ее базе полномасштабную Северокавказскую геофизическую обсерваторию.

В настоящее время нами в рамках проекта оборудованы четыре полномасштабные геофизические лаборатории с удаленным доступом. По мере поступления новых информационно-измерительных систем и приборов, закупаемых в рамках настоящего проекта, геофизическая сеть расширяется.

В результате выполнения проекта разработана и создана первая на Северном Кавказе полномасштабная геофизическая обсерватория в районе Эльбрусского вулканического центра. В процессе проведения экспериментов на базе Обсерватории получены качественно новые научные результаты, которые позволяют сегодня утверждать, что вулкан Эльбрус находится в активной стадии своего развития и в этой связи должен быть отнесен к классу «А»

действующих вулканов с датировкой извержений в историческое время. Однако полное представление о происходящих процессах и долгосрочное прогнозирование вулканической опасности в результате активизации магматических образований внутри вулканической постройки, можно получить только на основе детального многопараметрического и многолетнего геофизического мониторинга. Эта работа продолжается на базе созданной Обсерватории учеными КБГУ и ИФЗ РАН.

Основные особенности исследований в рамках настоящего проекта сводились к тому, что наряду с сугубо теоретическими исследованиями потребовалось создание специализированных научных, технологических приемов анализа комплексной геофизической и сейсмологической информации. Эта информация накапливалась по мере развития Обсерватории.

В процессе проведения исследований теоретически было показано, что магматический очаг и магматические камеры вулкана являются структурами резонансного типа. Это открытие позволило сформулировать новые подходы анализа динамических особенностей отдельных магматических образований и выделить класс предвестников готовящегося извержения. Нашими учеными разработана технология оценки эволюции новейшего магматизма на Северном Кавказе, изучена цикличность в проявлении магматизма и решены другие задачи, имеющие важное научное значение.

Экспериментально были получены основные ряды резонансных частот в поле волновых возмущений, наведенных удаленными землетрясениями. Все новые научные материалы и технологии подробно описаны в отчетах, которые своевременно представлялись заказчику и были приняты с положительной оценкой.

Теоретические исследования, выполненные в рамках проекта, соответствуют мировому уровню. Аппаратурная база созданной Обсерватории по некоторым параметрам (кварцевые наклонометры системы Д. Гриднева и деформографы не имеют зарубежных аналогов) превосходят известные приборы.

В процессе создания всего информационно-измерительного комплекса Обсерватории использованы оригинальные изобретения.

Введение в строй первой на Северном Кавказе полномасштабной геофизической Обсерватории позволило вести постоянный мониторинг процессов в геологической среде региона, включая и вулканы Эльбрус и Казбек. Эти прогностические данные регулярно передаются в Геофизическую службу РАН и затем в МЧС России и Республики Кабардино-Балкария.

На основе приведенных данных сделан важный вывод о том, что в интервале от позднего миоцена до голоцена включительно периоды магматической активности по мере приближения к голоцену резко увеличиваются, а периоды покоя (отсутствия магматической активности) сокращаются. Анализ имеющихся геологических и геофизических (сейсмозондирование, высокоточные гравиметрические исследования) данных показал, что нет никаких оснований полагать, что магматическая деятельность на Кавказе полностью прекратилась. Получаемые данные о сейсмических особенностях региона и грозящей вулканической опасности позволяют составить прогнозные оценки возможных катастрофических событий в регионе и принять меры по снижению ущерба.

Новые теоретические положения опубликованы в печати и уже востребованы учеными, которые занимаются изучением вулканов.

Разработанная и построенная в рамках проекта первая на Северном Кавказе полномасштабная геофизическая обсерватория, включающая три отдельных лаборатории, уже используется учеными Российской академии наук и Высшей школы в процессе проведения научных исследований.

Обсерватория, дооснащенная тремя современными сейсмическими приборами, закупленными в рамках настоящего проекта, Вместе с другими аппаратурными комплексами, установленными в трех лабораториях Обсерватории, мы имеем возможность вести оперативный мониторинг магматических образований в районе Эльбурского вулканического центра. Исполнители проекта в инициативном порядке развернули работы по созданию

четвертой геофизической лаборатории в районе верховьев реки Кубань. Эти работы будут завершены после изыскания дополнительных финансовых средств.

Таким образом, в результате выполнения проекта развернута Северокавказская геофизическая обсерватория, которая создана в основном на базе комплексной геофизической информационно-измерительной системы Кабардино-Балкарского государственного университета (КГФИИС КБГУ).

Северокавказская геофизическая обсерватория является геофизической измерительной системой нового поколения, которая пока не имеет аналогов в РФ. Она предназначена для изучения всего комплекса наведенных волновых и не волновых процессов в регионе. Авторам проекта удалось охватить основной круг задач, отражающих в достаточной мере структуру и поведение магматических образований в районе Эльбрусского вулканического центра.

Международный опыт создания и эксплуатации подобных систем в районах развитого вулканизма показывает, что такая обсерватория должна постоянно расширять в своем составе сеть специализированных геофизических лабораторий, оснащенных современными приборами.

Таким образом, в результате выполнения проекта закончено создание первой на Северном Кавказе полномасштабной геофизической Обсерватории в районе Эльбрусского вулканического центра. В результате проведения НИР, получены принципиально новые геолого-геофизические данные, отражающие развитие катастрофических процессов в районе Эльбрусского вулканического центра и на прилегающих территориях. Разработаны программные продукты и сформулированы требования к режимным измерениям, проводимым в развернутых лабораториях с использованием комплексной геофизической информационно-измерительной системы Кабардино – Балкарского государственного университета (КГФИИС КБГУ)», которая органически влилась в развиваемую на ее базе полномасштабную Северокавказскую геофизическую обсерваторию.

Проведение технико-экономической оценки на сегодняшний день не представляется возможным, так как все услуги, оказываемые сторонними организациями, не являются коммерческими, и носят чисто научный характер.

Заключение

В процессе выполнения настоящей НИР научным коллективом выполнен большой объем теоретических и экспериментальных (полевых) работ в районе Эльбрусской вулканической области и на прилегаемых территориях Северного Кавказа, которые позволили повысить уровень и технологическое оснащение основных научно-исследовательских лабораторий и получить новые научные результаты, некоторые из которых не имеют мировых аналогов.

1. Завершены работы по созданию полномасштабной Геофизической Северокавказской обсерватории и на ее базе получена новая научная информация о генерации локальных УНЧ геомагнитных возмущений, предвещающих сейсмические на этапе подготовки крупного землетрясения».



Рисунок 164 - Лаборатория № 1. Эльбрусский вулканический центр.
1 - бетонный постамент 1200*1200*8000 мм, 2 – датчики трехкомпонентной магнитовариационной станции, 3 – прецизионные наклонометры системы
4 – сейсмическая станция, 6 – информационно-измерительная система

Координаты обсерватории: 43° 16' северной широты 42° 41' восточной долготы.

Углубление под гору Андырчи 1500 м.

Габаритные размеры вырубki ~ 3*4*6 м.

Обсерватория обеспечивает изучение всего комплекса наведенных

волновых и не волновых процессов в различных регионах Земли. Она включает связанные между собой полномасштабных геофизические лаборатории, в которых функционируют в режиме непрерывного мониторинга следующие информационно-измерительные системы: наклономерные станции, стационарные гравиметры, магнитовариационные станции, магнитометры индукционные, региональные сейсмические станции, акустические станции, тепловые станции, вспомогательное научное оборудование, обеспечивающее контроль климатических параметров (давления и температуры), системы точного времени и др.

Получаемые экспериментальные данные позволяют исследовать геофизические поля, наведенные землетрясениями, техногенными и вулканическими процессами.



Рисунок 165 - Лаборатория № 2. Эльбрусский вулканический центр. Углубление под гору Андырчи 4,1 км. Глубина вырубки 80 м. Геофизическая аппаратура размещена на двух бетонных постаментах.





Рисунок 166 - Общий вид подземной геофизической лаборатории № 3 в городе Нальчике, Республика Кабардино – Балкария.



Рисунок 167 - Общий вид Лаборатории № 4 Северокавказской геофизической Обсерватории, расположенной в верховьях р. Кубань (Эльбрусская вулканическая область).

Результаты научных наблюдений публикуются в открытом доступе на web-ресурсах <http://forecast.izmiran.ru/>, <http://alex.uipe.ru/data/>.

Экспериментально установлено, что более 95% зарегистрированных землетрясений с $M \geq 7$ предваряются квазигармоническими УНЧ магнитными возмущениями.

В качестве примера на рисунке 168а,б представлена запись цунамогенного землетрясения, которое произошло 19 марта 2009г в районе острова ТОНГО, Аномальное геомагнитное квазигармоническое возмущение

(рисунок 168б), наведенное за час до начала землетрясения, содержит полезную информацию, как о месте, так и о времени ожидаемого сейсмического события.

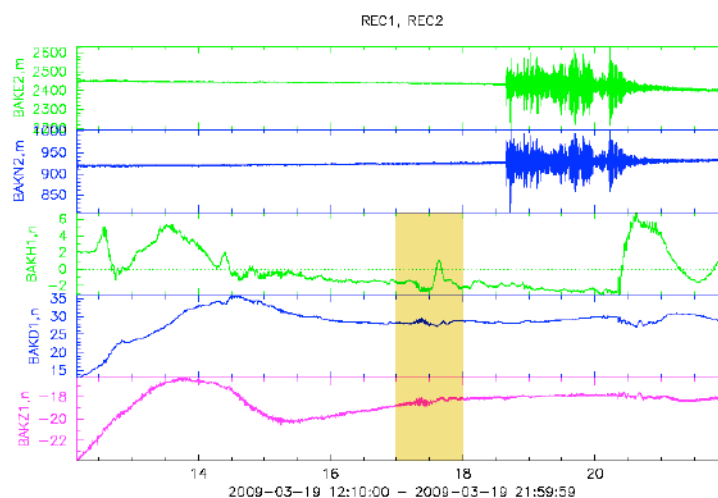


Рисунок 168а - Вариации УНЧ электромагнитных возмущений и показания наклономеров перед землетрясением в районе острова ТОНГО.

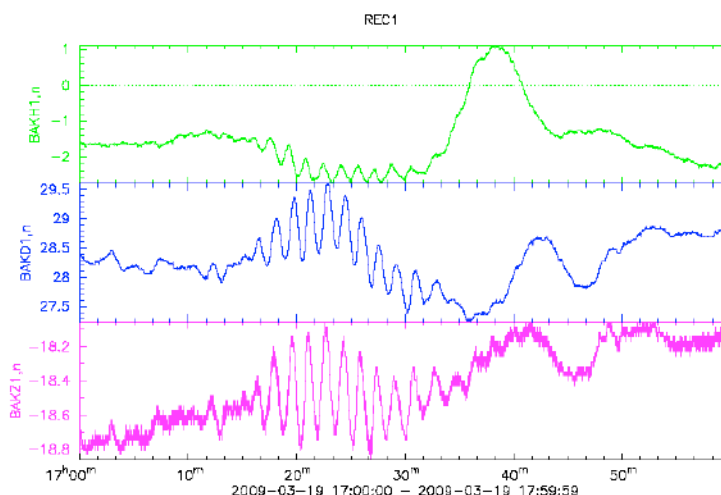


Рисунок 168б - Тонкая структура аномального квазигармонического электромагнитного возмущения, сформировавшегося за час до анализируемого сейсмического события. ВАКН1 – показания Н компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ; ВАКД1 – показания D компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ; ВАКЗ1 – показания Z компоненты магнитовариационной станции на 15 пикете Баксан, нТ; ВАКЕ2 – показания накломера E-W на 15 пикете Баксан, ms; ВАКН2 – показания накломера N-S на 15 пикете Баксан, ms.

Другой пример – цунамогенное землетрясение 12 сентября 2007 года в районе Южной Суматры, Индонезия, магнитуда 7,9. Здесь начало

формирования аномального квазипериодического возмущения в геомагнитном поле, которое предвляло это катастрофическое событие, было выделено более чем за три часа (рисунок 169а,б).

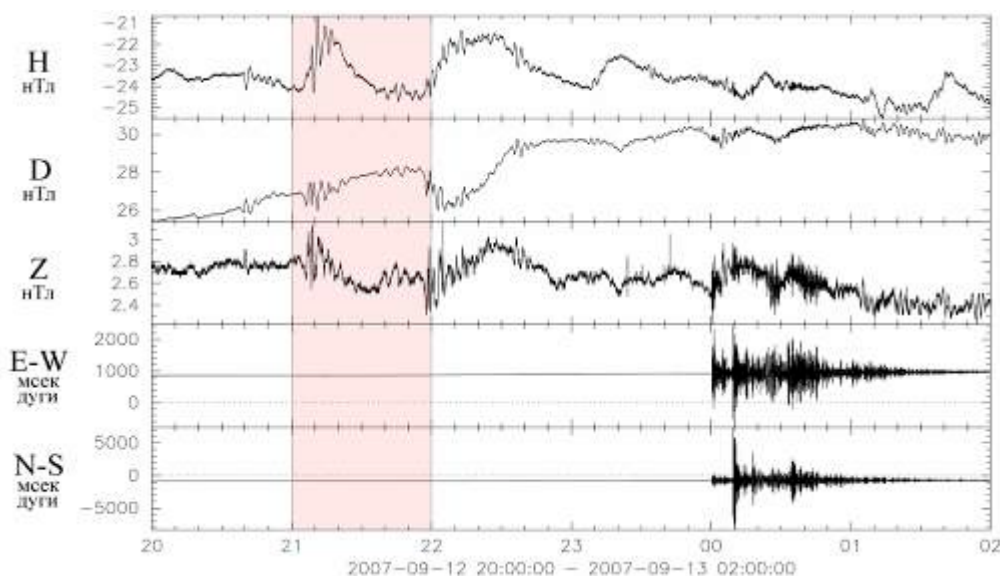


Рисунок 169а - Землетрясение в районе Южной Суматры 12.09.2007. Выделены квазигармонические УНЧ возмущения, зарегистрированные магнитными вариометрами и наклономерами Геофизической обсерватории.

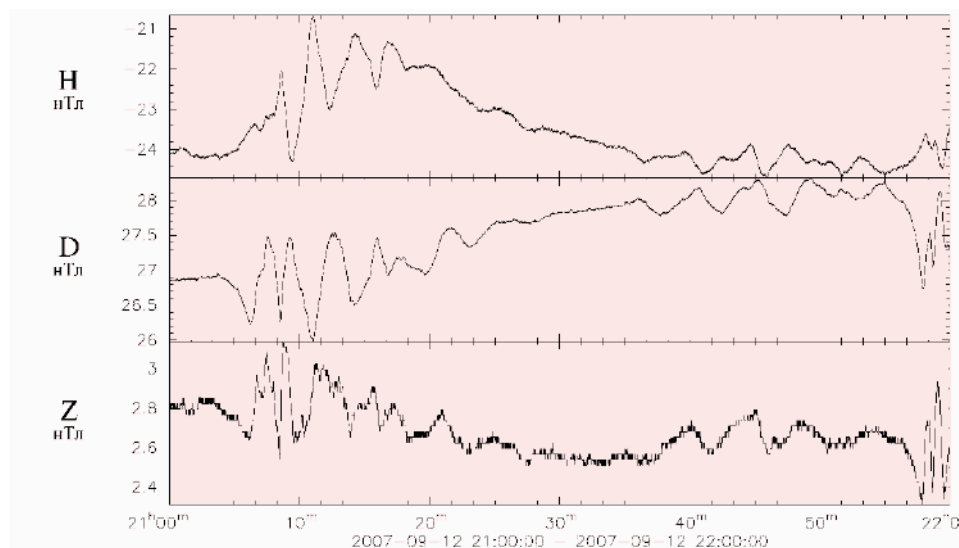


Рисунок 169б - Тонкая структура УНЧ геомагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось, начиная с 21 часа, 30 минут (т.е. за 3 часа) перед цунамогенным землетрясением в районе южной Суматры 12.09.2007. Лаборатория №1.

Отметим, что до начала землетрясения сейсмический и электромагнитный фоны были спокойными (рисунок 169а). В 20 часов 40 минут (примерно за 3 часа до первого толчка) по всем трем каналам магнитных

вариометров появились квазипериодические электромагнитные возмущения, которые резко отличаются от вариаций естественного геомагнитного поля (рисунок 169б).

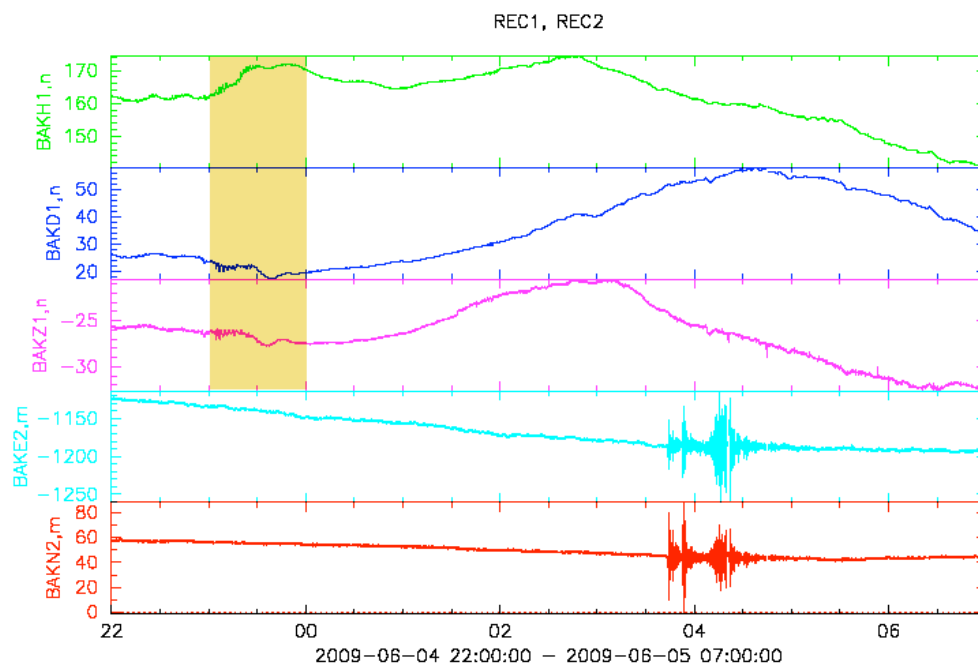


Рисунок 169в - Землетрясение в районе Хаккайдо, Япония 05июня-2009г. Желтым выделены квазигармонические УНЧ возмущения, зарегистрированные магнитными вариометрами и наклономерами Геофизической обсерватории.

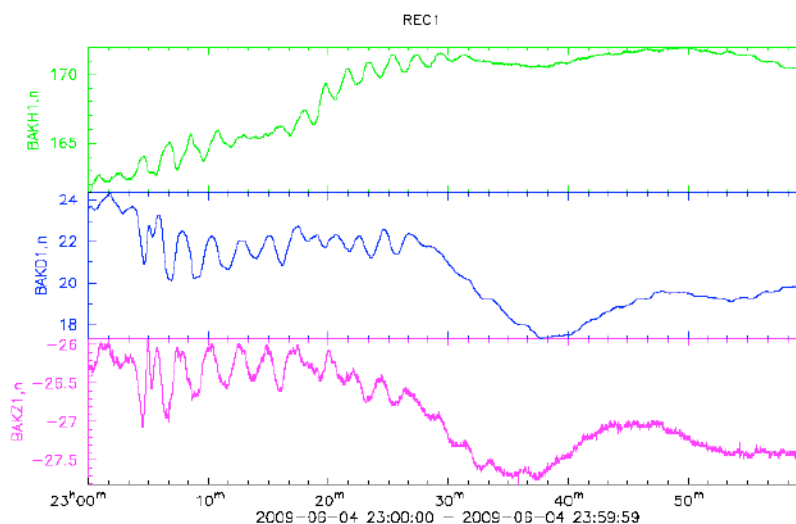


Рисунок 169г - Тонкая структура УНЧ геомагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось, начиная с 23 часов, 30 минут (т.е. за 4 часа) перед землетрясением в районе Хаккайдо, Япония, 05июня-2009г. Лаборатория №1.

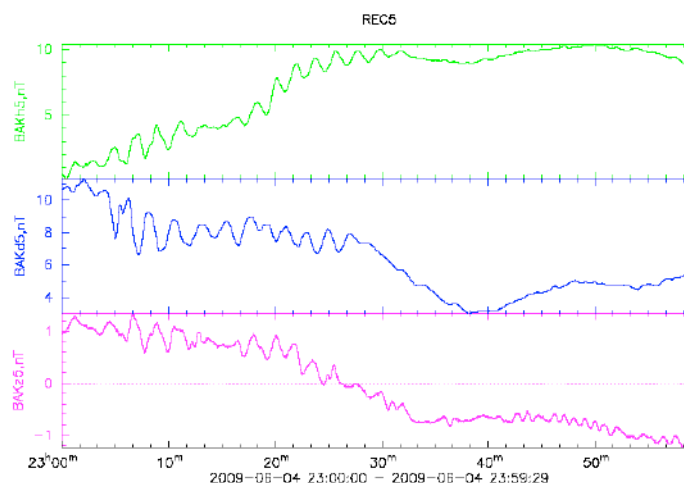


Рисунок 169д - Тонкая структура УНЧ геомагнитного возмущения, которое возникло и наблюдалось, начиная с 23 часов, 30 минут (т.е. за 4 часа) перед землетрясением в районе Хаккайдо, Япония, 05июня-2009г. Лаборатория № 2.

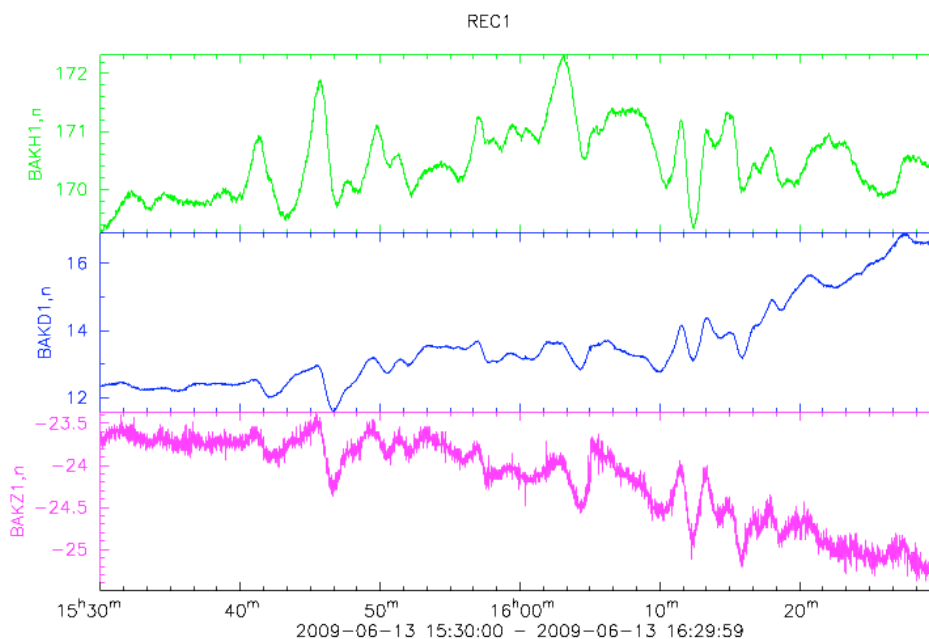


Рисунок 169е - Тонкая структура УНЧ аномального геомагнитного возмущения, которое наблюдалось за 2 часа перед землетрясением в районе восточного Казахстана.

Отметим, что на суше тонкая структура сигнала приобретает другие формы, у которых четкая квазигармоничность нарушается.

Таким образом, в результате выполнения НИР:

– впервые выделены экспериментально аномальные квазигармонические волновые формы УНЧ геомагнитных возмущений

(сигналов) перед сильными сейсмическими событиями, которые мы связываем с развитием мощных флюидонасыщенных дилатансных структур и сопутствующих пограничных слоев дилатансии; выявлены различия в структуре УНЧ геомагнитных возмущений «сухопутных» и «морских» землетрясений;

– впервые получены волновые формы УНЧ геомагнитных возмущений перед цунамогенными сейсмическими событиями, которые позволят выходить на построение технологии прогнозирования места и времени цунамогенных землетрясений при условии привлечения дополнительной геоакустической и гидроакустической прогностической информации.

Развитие работ по решению этой крупной проблемы и других задач, связанных с обеспечением сейсмической и вулканической безопасности на Северном Кавказе и в других регионах России, потребует совершенствования аппаратной базы Северокавказской геофизической обсерватории с последующим обеспечением организации непрерывного многопараметрического аппаратного мониторинга, включающего и разнесенные магнитовариационные информационно-измерительные системы, расположенные на значительном удалении одна от другой.

2. Установлено, что известный перечень голоценовых и более древних извержений вулкана Эльбрус является далеко не полным. Анализ геологической, геоморфологической и гляциологической обстановок на вулканической постройке позволяет предполагать, что независимо от нахождения эруптивного центра, силы, типа будущих извержений Эльбруса и состава излившихся лав, активность вулкана будет сопровождаться образованием катастрофических лахаров и наводнений, поскольку для их возникновения в пределах вулканической постройки везде имеются благоприятные условия. При исследовании магматических структур вулкана Эльбрус нам впервые удалось установить, что магматическая камера и магматический очаг, расположенные в слоистом полупространстве, каким

представляется вулканическая постройка, порождают локальные резонансные эффекты, а температура в магматической камере составляет от 700 до 800⁰С. Собственные частоты таких неоднородных образований и их основные резонансные особенности могут быть определены экспериментально и проанализированы теоретически на примере полости соответствующей конфигурации в бесконечном пространстве, упругие характеристики которой соответствуют среде, содержащей магматический очаг или магматическую камеру. Спектр колебаний достаточно широк и определяется размером, конфигурацией и взаимным расположением магматических камер и иных образований резонансного типа в неоднородной слоистой вулканической постройке.

3. Дальнейшее практическое использование экспериментальных результатов, получаемых в четырех полномасштабных геофизических лабораториях, оборудованных современными информационно-измерительными системами и приборами из состава «Комплексной геофизической информационно-измерительной системы Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ)», планируется осуществлять в форме доступа потребителей на специализированные сайты.

4. Полученные новые научные материалы указывают на необходимость расширения (при одновременной модернизации существующей измерительной базы) Северокавказской геофизической обсерватории. В составе КГФИИС КБГУ необходима установка дополнительно шести среднечастотных сейсмических и магнитных станций на различном удалении от вулканической постройки Эльбруса - вероятного эпицентра геодинамических событий в регионе - и организация непрерывных 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 или вулканического события,

определяются изменениями в напряженно-деформированном состоянии горной породы во всем объеме зоны подготовки, в том числе и у дневной поверхности.

5. В процессе выполнения НИР созданы и испытаны два типа мобильных подземных информационно-измерительных систем, которые могут быть использованы для совместной интерпретации получаемой информации. При этом, проводимые исследования включают:

- анализ сейсмических шумов с целью определения поверхностной скоростной модели;
- сравнение сейсмического шума на двух группах;
- анализ данных по землетрясениям разными методами, особенно для событий записанных двумя группами;
- поляризационный анализ продольных и поперечных волн для локальных и региональных землетрясений и вулканических событий;
- поляризационный анализ сейсмических шумов.

6. Развертывание первой в России и пока единственной подземной линейной сейсмоакустической антенны во вспомогательной штольне Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН и применение созданных авторами работы новых мобильных низкочастотных информационно-измерительных систем, развиваемых на базе сейсмических приемников СМ-3-ОС и дополняющих антенну, показали, что их комплексное применение обеспечивает оперативный мониторинг состояния вулкана и сейсмических процессов в районе Эльбрусской вулканической области на основании измерения флуктуаций геофизических полей.

7. Дальнейшее расширение фронта научных работ по проблеме в целом и при развитии соответствующего программного продукта открывает широкие возможности для обеспечения прогнозирования не только времени, но и места будущего катастрофического события с известной среднеквадратической ошибкой.

8. Сегодня решение важной государственной проблемы, связанной с прогнозированием крупных сейсмических и других катастроф, сдерживает

только ограниченное финансирование, как фундаментальных, так и прикладных исследований в этой области науки. Следует отметить при этом и отсутствие должного внимания к проблемам прогноза крупных землетрясений со стороны государства в целом и МЧС в частности.

9. При выполнении запланированных работ в рамках настоящей НИР впервые на Северном Кавказе была развернута подземная линейная сейсмическая антенна, которая позволила получить уникальную, не имеющую аналогов в России, геофизическую информацию о «жизни» вулкана Эльбрус. Дальнейшие исследования этих процессов позволят выйти на технологии прогнозирования активизации вулканических процессов в регионе, а опыт наших работ будет востребован в вулcanoопасных регионах России.

10. Научные результаты, полученные в ходе проведенных полевых экспериментов с использованием стационарных и мобильных аппаратурных геофизических комплексов Кавказской геофизической обсерватории и в первую очередь с подземной линейной сейсмической антенной, дают все основания для продолжения исследований и анализа собранных данных, как по местным землетрясениям и вулканическим процессам, так и по сейсмическому шуму. Подтверждено, что подземная группа сейсмических приёмников (антенна) – эффективное средство для сейсмического мониторинга в вулканической области. Поэтому необходимо развивать новые исследовательские проекты с целью установки стационарной многоканальной цифровой сейсмической антенны и последующего развития технологий анализа сейсмических сигналов, получаемых в реальном масштабе времени в районе Эльбрусского вулканического центра и на прилегающих территориях, где наблюдаются проявления вулканических процессов.

Список использованных источников

1. Лаверов Н.П., Богатилов О.А., Мелекесцев И.В., Собисевич А.Л., Нечаев Ю.В., Рогожин Е.А., Федотов С.А. и др. Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука. 2005 г. С. 6002
2. Милуков В.К. Мониторинг состояния магматических структур вулкана Эльбрус по наблюдениям литосферных деформаций. Вулканология и сейсмология, №1, 2006 г. С. 1-13
3. Собисевич Л.Е., Милуков В.К., Собисевич А.Л. Механико-математический мониторинг магматических структур вулкана Эльбрус. М.: ОИФЗ РАН. 2001 г. С. 223–249
4. Собисевич Л.Е., Шумейко В.И., Селезнев М.Г., Ляпин А.А., Собисевич А.Л., Корабельников Г.Я. Локальные резонансы в слоистых средах. М.: ОИФЗ РАН, Московский филиал ГНИЦ ПГК при КубГУ Министерства образования РФ. 2000 г. С. 178
5. Богатилов О.А., Войтов Г.И., Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Науменко-Бондаренко И.И., Пузич И.Н., Коробейник Г.С. О пароксизмальном извержении грязевого вулкана горы Карабетова 6 мая 2001 г. (Таманская грязевулканическая провинция) // ДАН. 2003. Т. 390. № 6. С. 805 – 808
6. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Волновые процессы и резонансы в геофизике. М.: ОИФЗ РАН. 2001 г. С. 297
7. Руденко О.В., Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Мониторинг наведенных волновых процессов в гетерогенных структурах вулканов центрального типа. Геофизика и математика в XXI веке. Сб. науч. труд. М.: ОИФЗ РАН. 2002 г. С. 102-120
8. Kopaev A., Milukov V., 2002. Environmental effects in tide strain observations near the Mt. Elbrus, Central Caucasus. Marees Terrestres. Bull. d'Inform. N137. P. 10909-10916
9. Молоденский С.М. Влияние рельефа равнинных областей на приливные наклоны и деформации. Второй порядок теории возмущений. Физика Земли, 8,

1986 г. С. 3-14

10. Молоденский С.М. О влиянии горизонтальных неоднородностей мантии на амплитуды приливных волн. Физика Земли, 2. 1997 г. С. 3-8

11. Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Корниенко С.Г., Якубсон К.И., Ораевский В.Н., Алексеев В.А. Космические методы выявления зон активной тектоники и современной геодинамики // Наука и техника в газовой промышленности. – 2000 г. – № 2. – С. 76-82

12. Дмитриевский А.Н., Володин И.А., Корниенко С.Г., Якубсон К.И., Ораевский В.Н., Алексеев В.А. Исследование зон активной тектоники и современной геодинамики космическими методами // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ: Материалы Международной конференции памяти академика П.Н. Кропоткина, 20-24 мая 2002 г. – М.: ГЕОС, 2002. – С. 122-124

13. Корниенко С.Г., Ляшенко О.В., Гурбанов А.Г., Собисевич А.Л., Лексин А.Б., Лиходеев Д.В. Проблемы мониторинга периферических магматических камер под Эльбрусским вулканическим центром по данным тепловой космической съемки // Современные методы геолого-геофизического мониторинга природных процессов на территории Кабардино-Балкарии. – М. -Нальчик, 2005 г. – С. 266-276

14. Сардаров С.С. (мл), Савин А.В., Пашук М.Г. Нормальные и аномальные геотермические поля и их связь с иерархией геологических тел // Доклады АН СССР. – 1984 г. – Т. 275, № 5. – С. 1084-1087

15. Сардаров С.С. (мл.), Савин А.В., Суетнова Е.И. Геотермический критерий тектонической активности / Геофизические методы в геотермии // Сборник научных трудов Института проблем геотермии Даг. ФАН СССР. – 1986 г. – Вып. 6. – С. 5-9

16. Савин А.В. Изучение геотермических полей различных уровней иерархии в связи с поисками месторождений нефти, газа и парагидротерм // Труды института проблем геотермии. Даг. ФАН СССР. – 1984 г. – Вып. 2. – С. 41-55

17. Савин А.В. Разномасштабные проявления геотермической активности // Тезисы докладов Международного симпозиума: Тепловая эволюция литосферы

и ее связь с глубинными процессами. – М.: Недра, 1989 г. – С. 125-126

18. Savin A.V., Kornienko S.G. Surface anomalies of temperature as indicators of new geodynamics /Proceedings of the International Conference: The Earth's Thermal Field and Related Research Methods, may 19-21. – М., 1998 г. – Р. 241-243

19. Христофорова Н.Н. Конвективные ячейки в мантии и тепловой поток // Георесурсы. – 2001 г. – № 1. – С. 20-27.

20. Богатилов О.А., Мелекесцев И.В., Гурбанов А.Г., Катов Д.М., Пурига А.И. Эльбрусская кальдера (Северный Кавказ) // ДАН, 1998 г., т. 363, № 4. С. 515-517.

21. Корниенко С.Г., Ляшенко О.В., Гурбанов А.Г. Выявление признаков очагового магматизма в пределах Казбекского вулканического центра по данным тепловой космической съемки. ВНЦ РАН И правительство Республики Осетия-Алания // Вестник ВНЦ. – 2004 г. – Т. 4, № 3

22. Лиходеев Д.В. Исследование тепловых и наведенных волновых процессов в районе Эльбурского вулканического центра // ИФЗ РАН. – М., 2007 г. – С. 144

23. Александров С.И., Мирзоев К.М. Мониторинг эндогенного микросейсмического излучения в районе Ромашкинского нефтяного месторождения // Проблемы геотомографии. М.: Наука, 1997 г. С. 176-189

24. Алексеев А.С., Жердяк Г.Ф., Меерсон А.Е., Хайдуков В.Г., Цибульчик Г.М. Сейсмическая голография и фотографирование - методы и результаты работ // Проблемы вибрационного просвечивания Земли. М., Наука, 1977 г. С. 32-52

25. Александров С.И. Поляризационный анализ сейсмических волн. М.: ОИФЗ РАН. 1999 г. С. 142

26. Александров С.И., Рыкунов Л.Н. Шумовой мониторинг Южной Исландии // Докл. РАН. 1992 г. Т. 326, № 5. С. 808-810

27. Алексеев А.С., Жердяк Г.Ф., Меерсон А.Е., Хайдуков В.Г., Цибульчик Г.М. Сейсмическая голография и фотографирование - методы и результаты работ // Проблемы вибрационного просвечивания Земли. М., Наука, 1977 г. С. 32-52

28. Александров С.И., Рыкунов Л.Н. Шумовой мониторинг Южной Исландии. // Докл.РАН. 1992 г. Т. 326. № 5. С. 808-810

29. Барахоев А.Г., Гриднев Д.Г., Науменко-Бондаренко И.И., Нерсесов И.Л., Смирнов Ю.Н. Наклономер: А.С. № 1316423. 1987 г.
30. Богатилов О.А., Карамурзов Б.С., Гурбанов А.Г., Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Мелекесцев И.В., Володичева Н.А., Шевченко А.В. Природные катастрофические процессы в окрестностях вулканов Эльбрус и Казбек (по материалам работы международной комплексной геолого-геофизической экспедиции) // Современные методы геолого-геофизического мониторинга природных процессов на территории Кабардино-Балкарии. Нальчик, 2003 г. С. 98 – 116
31. Богатилов О.А., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л. Уточнение структурных особенностей материнского магматического очага и вулканической камеры Эльбруса // Современные математические и геологические модели в задачах прикладной геофизики. М.: ОИФЗ РАН, 2001 г. С. 249-260
32. Федотов С. А., Шумилина Л.С., Чернышева Г.В. Сейсмичность Камчатки и Коман-дорских островов по данным детальных исследований // Вулканология и сейсмо-логия. 1987 г. № 6. С. 29–60
33. Богатилов О.А., Гурбанов А.Г., Коваленко В.И., Собисевич Л.Е. и др. Мониторинг магматических структур вулкана Эльбрус. М. 2001 г. С. 324
34. Богатилов О.А., Нечаев Ю.В., Собисевич А.Л. Космические технологии в изучении геологических структур вулкана Эльбрус // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. Материалы XXXVI Тектонического совещания, Москва, 04 - 07 февраля 2003 г. Том 1. М.: ГЕОС, 2003 г. С. 44 – 48
35. Горбатилов А.В. Патент на изобретение № RU 2271554 С1. «Способ сейсморазведки». Дата приоритета 25.03.2005 г., Опубликовано 10.03.2006 г., Бюл. №7
36. Троицкий П.А. Исследования шумового отклика литосферы на землетрясения. // Проблемы нелинейной сейсмологии. М.: Наука, 1987 г., С. 190-203.
37. Шубик Б.М., Киселевич В.Л. Микросейсмическая активность в гидротермальной области и задачи сейсмического мониторинга // Разработка

- концепции мониторинга природно-технических систем. М.: Российская Академия Наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта. 1993 г. С. 269
38. Шубик Б.М., Киселевич И.Л., Николаев А.В., Рыкунов Л.Н. Микросейсмическая активность в гидротермальной области // Физические основы сейсмического метода. Нетрадиционная геофизика. М.: Наука, 1991 г. С. 143-158
39. Чеботарева И.Я., Николаев А. В., Сато Х. Векторная эмиссионная томография: исследование эмиссионной активности в районе вулканического фронта (Япония) // Проблемы геотомографии. М.: Наука, 1997 г. С. 161-175
40. Александров С.И., Рыкунов Л.Н. Шумовой мониторинг Южной Исландии. // Докл.РАН. 1992 г. Т. 326. № 5. С. 808-810
41. Neidell, N.S. and Taner, F. Semblance and other coherency measures for multichannel data. Geophys. 1971, V. 36, No 3, pp. 482-497
42. Николаев А.В., Троицкий П.А., Чеботарева И.Я. Изучение литосферы сейсмическими шумами // ДАН СССР. Т. 286. № 3. 1986 г. С. 586-591
43. Николаев А.В., Троицкий П.А., Чеботарева И.Я. Метод геофизической разведки. А.С. 1000962 (СССР) // БИ. 1983 г. № 8
44. Tchegotareva I., Nikolaev A.V., Sato H. Seismic emission activity of Earth's crust in Northern Kanto, Japan // Phys. Earth Planet. Inter. 2000, V. 120. P. 167-182.
45. Александров С.И., Гогоненков Г.Н., Мишин В.А., Тессман Д. Пассивный сейсмический мониторинг при разработке месторождений углеводородов: новый метод обработки данных. Материалы Международной геофизической конференции "Геофизика XXI века - прорыв в будущее" Москва, 1-4 сентября 2003 г. OS13
46. Maxwell C., Urbancic I. The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field // The Leading Edge, 2001, V. 20, N 6, p. 636-639
47. Omori F. On microtremors // Res. Imp. Earthquake Inv. Comm. 1908. Vol. 2. Pp. 1-6
48. Голицын Б.Б. Лекции по сейсмометрии. Санкт-Петербург: Типография Императорской АН, 1912 г. С. 654

49. Винник Л.П. Структура 4-6-секундных микросейсм // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1967 г. № 10. С. 25-38
50. Винник Л.П., Пручкина Н.М. Исследование структуры короткопериодных микросейсм // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1964 г. № 5. С. 688-701
51. Монахов Ф.И. Низкочастотный сейсмический шум Земли. М.: Наука, 1977 г. С. 96
52. Табулевич В.Н. Комплексные исследования микросейсмических колебаний. Новосибирск: Наука, 1986 г. С. 151
53. Bard P. Microtremor measurements: A Tool for the Effect Estimation? The Effects of Surface Geology on Seismic Motion. Balkeman. Rotterdam. 1999. ISBN 90 5809 030 2
54. Bromirski P.D. Vibrations from the "Perfect Storm" // Geochem., Geophys., Geosyst. 2001. Vol. 2. Paper Number 2000GC000119
55. Asten M.W., Henstridge J.D. Array estimators and the use of microseisms for of sedimentary basins // Geophysics. 1984. Vol. 49. Pp. 1828-1837
56. Horike M. Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S-wave-velocity structure down to the basement in urbanized areas // J. of Physics of the Earth. 1985. Vol. 33. Pp. 59-96
57. Matsushima T., Okada H. Determination of deep geological structures under urban areas using long-period microtremors // Butsuri-Tansa. 1990. Vol. 43, N 1. Pp. 21-33
58. Cho I., Tada T., Shiozaki Y. // A new method to determine phase velocities of Rayleigh waves from microseisms. Geophysics. 2004. Vol. 69, N 6. Pp. 1535-1551
59. Noguchi T., Nishida R. Determination of subsurface structure of Tottori plain using microtremors and gravity anomaly// Journal of Natural Disaster Science. 2002. Vol. 24. N 1. Pp. 1-13
60. Горбатилов А.В., Барабанов В.Л. Опыт использования микросейсм для оценки состояния верхней части земной коры // Физика Земли. 1993 г. № 7. С. 85-90
61. Kanai K., Tanaka T. Measurement of the microtremor // Bull. Earthq. Res. Inst.

Tokyo Univ. 1954. Vol. 32. Pp. 199-209

62. Katz L.J., Bellon R.S. Microtremor site analysis study at Beatty, Nevada // BSSA. 1978. Vol. 68. Pp. 757-765

63. Udawadia F.E., Trifunac M.D. Comparison of earthquake and microtremor ground motions in El Centro, California // BSSA. 1973. Vol. 63. Pp. 1227-1253

64. Ohta Y., Kagami H., Goto N., Kudo, K. Observation of 1 to 5 second microtremor and their application to earthquake engineering. Part I: Comparison with long- period accelerations at the Tokachi-Oki earthquake of 1968 // BSSA. 1978. Vol. 68. Pp. 767-779

65. Kagami H., Okada S., Shinoko K., Oner M., Dravinski M., Mal A.K. Observation of 1 to 5 second microtremor and their application to earthquake engineering. Part III: A two-dimensional study of site effects in S. Fernando Valley // BSSA. 1986. Vol. 76. Pp. 1801-1812

66. Field E. H., Hough S.E., Jacob K.H. Using microtremors to assess potential earthquake site response: a case study in Flushing Meadows, New York City // BSSA. 1990. Vol. 80. Pp. 1456-1480

67. Nakamura Y. A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 1989. Vol. 30, N 1. Pp. 25-33

68. Panou A.A., Theodulidis N., Hatzidimitriou P.M., Papazachos C.B., Stylianidis K. Ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio for assessing site effects in urban environments: the case of Thessaloniki city (Northern Greece) // Bull. Geol. Soc. of Greece. 2004. Vol. XXXVI. Proc. 10-th International Congress. Thessaloniki. April 2004. Pp. 1467- 1476

69. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В., Букчин Б.Г., Бармин М.П., Ратникова Л.И., Итс Е.Н. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. М.: Наука, 1986 г. С. 278

70. Hudson J.A., Knopoff L. Transmission and reflection of surface waves at a corner // J. Geophys. Res. 1964. Vol. 69. 281 p

71. Hudson J.A., Knopoff L. Transmission and reflection of surface waves at a corner

- // J. Geophys. Res. 1964. Vol. 69. 281 p
72. McGarr A., Alsop L.E. Transmission and reflection of Rayleigh waves at vertical boundaries // J. Geophys. Res. 1967. Vol. 72. Pp. 2169-2180
73. Malishevski P. Surface waves in media having lateral inhomogeneities // Pure and Appl. Geophys. 1976. Vol. 114. Pp. 833- 843
74. Gregersen S. Possible mode conversion between Love and Rayleigh waves at the continental margin // Geophys. J. Roy. Astron. Soc. 1978. Vol. 54. Pp. 121-127
75. Boore D.M. Finite difference methods for seismic waves propagation in heterogeneous materials // Methods in computational physics. N.Y.: Acad. Press, 1972. Pp. 1-137
76. Горбатиков А.В., Степанова М.Ю. Результаты исследований статистических характеристик и свойств стационарности низкочастотных микросейсмических сигналов // Физика Земли. 2008 г. №1. С.57-67
77. Lacoss R.T., Kalley E.J., and Toksoz M.N. Estimation of seismic noise structure using arrays // Geophysics. 1969. Vol. 34, N. 1. Pp. 21-38
78. Rodgers P.W., Taylor S.R., Nakanishi K.K. System and site noise in the regional seismic test network from 0.1 to 20 Hz // BSSA. 1987. Vol. 77. Pp. 663-678.
79. Beauduin P., Lognonne P., Montagner, J., Cacho, S., Karczewski, J., and Morand M. (1996), The effect of atmospheric pressure changes on seismic signals, or how to improve the quality of a station // BSSA. 1996. Vol. 86. Pp. 1760-1799
80. Withers M.M., Asten R.C., Young C.J., and Chael E.P. High frequency analysis of seismic background noise as a function of wind speed and shallow depth // BSSA. 1996. Vol. 86. Pp. 1507-1515
81. Gorbatikov A.V., Stepanova M.Yu., Sobissevitch A.L., Rogozhin E.A. Influence of local geological heterogeneities on forming the amplitudes of low-frequency microseismic field and sounding the geological medium with microsesms // European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, Austria, 13 - 18 April 2008
82. Горбатиков А.В., Калинина А., Моисеенко С., Постнов А., Одинцов С., Ширягин О.А., Сидоров В. Мониторинг объектов нефтегазового комплекса

- методом микросейсмического зондирования // Технологии ТЭК. Нефть и капитал. 2004 г. № 1(14). С. 20-26
83. Ширягин О.А. Геоэкологические основы геодинамического мониторинга Астраханского газоконденсатного месторождения. Дис. канд. геол.-минерал. наук. Астрахань: Волгоградская архитектурно-строительная академия. 2002 г. С. 140
84. Белоусов В.В., Яроцкий Л.А. Грязевые сопки Керченско-Таманской области. Условия их возникновения и деятельности. Л.-М.: ОНТИ. 1936 г. С. 154
85. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области. К.: Наукова Думка. 1986 г. С. 152
86. Якубов А.А., Григорьянц Б.В., Алиев А.А. и др. Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтегазоносностью. Баку: Элм. 1980. 164 с.
87. Alsop L.E. Transmission and reflection of Love waves at the vertical discontinuity // J.Geophys. Res. 1966. Vol. 71. Pp. 3969-3984
88. Saintot A., Angelier J. Plio-Quaternary paleostress regimes and relation to structural development in the Kertch-Taman peninsulas // Journal of structural geology. 2000 г. Vol. 22. Pp. 1049 – 1064
89. Шеин В.С. Геология и нефтегазоносность России. М.: ВНИГНИ. 2006 г. С. 776
90. Золотов Е.Е., Кадури И.Н., Кадурина Л.С. и др. Новые данные о глубинном строении земной коры и сейсмичности Западного Кавказа // Геофизика XXI столетия: 2001 год. М.: Научный Мир, 2001 г. С. 85-89

Приложение 1

Перечень организаций пользователей УСУ «Комплексная геофизическая
информационно-измерительная система Кабардино-Балкарского
государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ)»
в 2009 году

1. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г.Москва, ул. Ленинские горы, д.1;
2. Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН), г. Москва, Старомонетный переулок, д.35;
3. Институт физики земли РАН им. О.Ю.Шмидта (ИФЗ РАН), г. Москва, Б.Грузинская, д. 10;
4. Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН (БНО ИЯИ РАН), КБР, Эльбрусский район, п. Нейтрино, ул. Мира 1;
5. Геофизическая служба РАН (ГС РАН), Калужская область, г. Обнинск., пр. Ленина,189;
6. Кабардино-Балкарский научный центр РАН (КБНЦ РАН), КБР, г.Нальчик, ул. Балкарова, 2;
7. Высокогорный геофизический институт (ВГИ) Росгидромета, КБР, г.Нальчик, пр. Ленина, 2;
8. Центр астрологических и медико-биологических проблем РАН, КБР, г.Нальчик, ул. Каратаева, 20а;
9. Институт земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Московская область, г. Троицк, ИЗМИРАН;
10. Федеральная пограничная служба России по Кабардино-Балкарской Республике, КБР г. Нальчик, ул. Кабардинская, 192;
11. Институт географии РАН (ИГ РАН), г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29;

12. Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), г. Москва, ул. Губкина, д. 3.
13. Верхне-Кубанский гидрогеодинамический полигон Всероссийского научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВКП ВСЕГИН ГЕО), Карачаево-Черкесская республика, п. Эльбрусский;
14. Северокавказская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы (СКВС). Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Газовая, д. 15а.
15. Институт экологии горных территорий Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Инессы Арманд, 37а.

Перечень организаций пользователей УСУ «Комплексная геофизическая
информационно-измерительная система Кабардино-Балкарского
государственного университета им. Х.М. Бербекова (КГФИИС КБГУ)» в 2010
году

1. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1;
2. Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН), г. Москва, Старомонетный переулок, д. 35;
3. Институт физики земли РАН им. О.Ю. Шмидта (ИФЗ РАН), г. Москва, Б. Грузинская, д. 10;
4. Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований РАН (БНО ИЯИ РАН), КБР, Эльбрусский район, п. Нейтрино, ул. Мира 1;
5. Геофизическая служба РАН (ГС РАН), Калужская область, г. Обнинск., пр. Ленина, 189;
6. Кабардино-Балкарский научный центр РАН (КБНЦ РАН), КБР, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
7. Высокогорный геофизический институт (ВГИ) Росгидромета, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2;

8. Центр астрологических и медико-биологических проблем РАН, КБР, г.Нальчик, ул. Каратаева, 20а;
9. Институт земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Московская область, г. Троицк, ИЗМИРАН;
10. Федеральная пограничная служба России по Кабардино-Балкарской Республике, КБР г. Нальчик, ул. Кабардинская, 192;
11. Институт географии РАН (ИГ РАН), г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29;
12. Институт водных проблем РАН (ИВП РАН), г. Москва, ул. Губкина, д. 3;
13. Верхне-Кубанский гидрогеодинамический полигон Всероссийского научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВКП ВСЕГИН ГЕО), Карачаево-Черкесская республика, п. Эльбрусский;
14. Северокавказская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы (СКВС). Кабардино-Балкарская республика, г.Нальчик, ул.Газовая, д.15а.
15. Институт экологии горных территорий Кабардино-Балкарского научного центра РАН, Кабардино-Балкарская Республика, г.Нальчик, ул.Инессы Арманд, 37а.