

**Министерство образования и науки
Кыргызской Республики**

**Бсыккульский государственный университет
им. К. Тыныстанова**

А.М. ТОКТОСОПИЕВ

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

Каракол, 2007

УДК 550.3
ББК 26.21
Т 51

Рекомендовано к изданию
Министерством образования и
науки Кыргызской Республики

Рецензенты: доктор геолого-минералогических наук Э.М.Мамыров;
кандидат физико-математических наук А.М.Муралиев.

Отв. редактор: доктор геолого-минералогических наук К.Е. Абдрахматов

Токтосопиев А.М.

Т 51 Электромагнитные предвестники землетрясений: Учеб. пособие.
– Каракол: 2007. - 312 с.

ISBN 978-9967-431-22-5

В монографии изложены результаты многолетних (1977-1997 гг.) исследований природных вариаций электромагнитных параметров (ЕИЭМП, ЭТП, АЭП), связанных с сейсмотектоническими процессами в земной коре Кыргызстана и изучение концентрации приземного озона (КПО). Имеющиеся к настоящему времени результаты наблюдений за поведением электромагнитного поля в сейсмоактивных областях показывают, что сейсмический процесс находит свое отражение в электромагнитном поле Земли.

В представленной работе была предпринята попытка определить перспективные пути выявления предвестников землетрясений на примере Северо-Тянь-Шанского сейсмического пояса (территории Кыргызстана). Автор попытался установить связи между аномальными возмущениями естественного импульсного электромагнитного поля (ЕИЭМП), электротеллурического поля (ЭТП), атмосферного электрического поля (АЭП) и происходящими землетрясениями.

Для геофизиков, физиков и других специалистов в области изучения землетрясений.

Т 1803020000-07
ISBN 978-9967-431-22-5

УДК 550.3
ББК 26.21

I. Введение

Проблема прогноза землетрясений является в настоящее время одной из важнейших проблем наук о Земле. Человечество давно ищет пути предсказания землетрясений и уменьшения сопутствующих им разрушений. Опыт показывает, что предотвратить землетрясения невозможно. Тем не менее, бурное развитие наук о Земле и геофизической аппаратуры открывают реальную перспективу для решения весьма важной проблемы человечества - прогнозирования землетрясения. В настоящее время известны многочисленные экспериментальные и теоретические сведения о процессах, предшествующих разрушениям как образам горных пород, так и массивов Земной коры. За последние десятилетия в различных сейсмоактивных районах инструментально выявлено большое количество аномальных явлений, интерпретируемые как предвестники. На их основе большое внимание уделяется вопросам практического и теоретического изучения вопросов, связанных с закономерностями формирования и возникновения аномальных возмущений геофизических полей, предшествующих сильным землетрясениям и сопровождающих их. Наряду с этим разрабатываются новые методики формализованного поиска сейсмопрогностических признаков, создаются сети комплексных наблюдательных пунктов.

В результате многолетних наблюдений на различных полигонах мира выяснилось, что вариации во времени измеряемых параметров геофизических полей находятся в довольно сложном соотношении с моментами возникновения сильных землетрясений, что может служить своеобразным предупреждением относительно беспочвенности надежд на сравнительно легкий успех в решении проблемы прогноза землетрясений. В настоящее время со всей очевидностью стало ясно, что для выяснения полной совокупности соотношений "предвестник - сильное землетрясение" и установления их возможной причинно-следственной связи необходимы довольно длительные стационарные непрерывные наблюдения за геофизическими полями и фоновой сейсмичностью. Все это предопределяет актуальность дальнейших обширных исследований тектонических процессов, комплексных и натуральных экспериментов по нетрадиционным методам (таким как комплекс гидрогеофизических параметров, атмосферные электрические возмущения, электромагнитное излучения, аномальные возмущения в ионосфере, регистрируемые на спутниках и наземных станциях, сейсмический шум, акустические

явления и ряд других), а также поисковых работ по выявлению новых предвестников.

Из трех временных масштабов прогноза (долгосрочный, среднесрочный, краткосрочный), краткосрочный выделяется конкретностью времени показания. К ним относятся данные натурных наблюдений по сейсмоаномальным возмущениям электротеллурического поля (ЭТП), атмосферного электрического поля (АЭП), аномального электромагнитного излучения (ЭМИ), акустической эмиссии (АЭ), электрической проводимости поверхностных слоев горных пород (о), ионосферные возмущения, аномалии геохимических, гидродинамических, геофизических и деформационных полей. Из-за недостаточной комплексности этих сейсмопрогнозных наблюдений в настоящее время мало работ по детальному совокупному анализу различных сейсмочувствительных параметров естественных полей, что снижает эффективность исследований. Поэтому сопоставление результатов, полученных не независимыми методами, представляется актуальным. Кроме этого, особую актуальность приобретают целенаправленные исследования современной геодинамической активности на территории Кыргызстана методами динамической геоэлектрики, информационные возможности которых при изучении явлений и процессов в неоднородных средах могут быть достаточно широки.

В последние 10-15 лет большое внимание в различных странах уделяется электромагнитным методам мониторинга различных оболочек Земли (литосферы, атмосферы и ионосферы). Эти методы позволяют контролировать процессы в локальных зонах литосферы и атмосферы, а также интегральные параметры ионосферы. Полагают, что их совокупное использование позволит подойти к решению одной из основных проблем, а именно - проблеме краткосрочного прогноза времени сильнейших землетрясений. Фактически здесь существуют два методологических направления работ, в которых используются источники естественных или искусственных электромагнитных полей. Использование второго направления сопряжено с созданием специальной техники контроля и использованием трудоемких методов долговременного зондирования. В связи с этим для территории Кыргызстана выбрано направление, в котором используется мониторинг и анализ характеристик естественных полей, контролируемых изменение параметров литосферы, атмосферы и ионосферы (волновода Земля-ионосфера).

Основные задачи исследований в монографии сформулированы следующим образом:

1. Создание на территории Кыргызстана комплексных электромагнитных пунктов мониторинга естественных импульсных

электромагнитных полей (ЕИЭМП), электротеллурического поля (ЭТП), атмосферноэлектрического потенциала (АЭП).

2. Использования формы сигналов ЕИЭМП с целью определения соотношений источников литосферного и атмосферного происхождения.

3. Исследования пространственно-временных закономерностей фоновых интенсивностей ЕИЭМП и влияния на них гелиогеофизических факторов.

4. Исследование связи регулярных и нерегулярных аномалий ЕИЭМП с сейсмическими процессами.

5. Изучение временных закономерностей электротеллурического поля, анализ морфологии поля и проявления гелиогеофизических, метеорологических и техногенных факторов.

6. Исследования аномальных возмущений горизонтальных и вертикальных компонент ЭТП при активизации сейсмических процессов.

7. Исследования характеристик атмосферного электрического потенциала и особенностей возмущений перед сейсмическими событиями. Анализ биореакций живых организмов перед сильными землетрясениями.

8. Разработка методик картирования разрывных структур с использованием электромагнитных методов и контроля концентрации озона.

9. Комплексных анализ возможностей использования аномальных возмущений ЕИЭМП, ЭТП и АЭП для краткосрочного прогноза времени сильных землетрясений.

Методика исследований. Работа выполнена на основе экспериментальных методов исследований и базируются на современных представлениях электромагнетизма, атмосферного электричества, сейсмологии. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием современных средств физических наблюдений. Для обработки данных использовались методы математической статистики, теория электродинамики.

Научная новизна. Перечисленные ниже работы и результаты исследований впервые выполнены и получены автором.

1. Организованы на территории Кыргызстана длительные стационарные наблюдения ЕИЭМП, ЭТП, АЭП. Детально изучены их пространственно-временных структур и выявлены основные закономерности регулярных и нерегулярных вариаций фоновых полей ЕИЭМП, ЭТП, АЭП. Выявлены их связь с различными гелиогеофизическими факторами.

2. Выявлены особенности аномальных изменений ЕИЭМП перед сейсмическими событиями в Иссык-Кульской и Чуйской впадины, выражающиеся в нарушении регулярности их суточного хода, изменении интенсивности регулярных максимумов и длительности возмущений, а

также изменений спектральных составляющих. Обнаруженные эффекты повышенного уровня ЕИЭМП в сейсмоактивных зонах свидетельствующей об изменении условий распространения радиоволн в волноводе Земля-Ионосфера. Установленные аномальные вариации ЕИЭМП могут интерпретироваться, как краткосрочные предвестники.

3. Решен ряд методических проблем постановки стационарных полевых наблюдений горизонтальной (традиционный) и вертикальной (на скважине) составляющей электротеллурического поля. Разработан новый тип электрода для регистрации вертикальной составляющей ЭТП на скважине и технология его изготовления. Обнаружены аномальные возмущения ЭТП, связанные с подготовкой землетрясений. Впервые зарегистрированы "П-образные" сигналы-предвестники ЭТП вертикального составляющего на частоте около 1Гц, которые рассмотрены как предвестники сейсмических событий. Выделены синхронные аномальные изменения вариации электросопротивления ρ и dZ магнитного поля и горизонтального составляющего ЭТП перед близкими землетрясениями.

4. Обнаружены на территории Кыргызстана аномальные возмущения электрического поля атмосферы (АЭП) обусловленные сейсмической активностью.

5. Проанализировано биологических предвестников полученных перед ряд сильных землетрясений происшедших на территории Кыргызстана.

6. Разработан инструментальных методов картирования разломных структур для обосновании мест расположения пунктов локального контроля сейсмической опасности при развертывании сети площадного мониторинга. Учитывая, что в зонах активных разрывных структур могут быть долгоживущие геохимические аномалии, для их картирования предложен метод контроля приземного озона.

В работе наряду с результатами автора использованы гелиофизические данные, полученные через мировые центры данных: Б2 (СНГ), С2 (Япония), метеосведения Гидрометеофонда Кыргызстана за 1978 - 1997гг.

Настоящая работа является итогом многолетней (1977-1997) деятельности автора сначала в Томском политехническом институте, а затем в Институте Сейсмологии НАН РК.

Экспериментальные исследования были начаты автором в 1978г по инициативе А.А.Воробьева, с которым автора связывают совместные многолетние усилия по проведению натурных наблюдений в Кыргызстане и за его пределами.

Автор глубоко благодарен сотрудникам ПНИЛ ЭДиП Томского политехнического института, подготовка и проведение эксперимента было бы невозможно без квалифицированного труда коллег по лаборатории и консультации с сотрудниками института в соавторстве с

которыми сделан ряд публикаций. Общение с которыми явилось хорошей школой геофизических исследований.

Ценная консультативная помощь оказана автору докторами наук И.Л.Гуфельдом, М.Б.Гохбергом, Г.А.Соболевым, Ф.Н. Юдахиным, К.Н. Абдулабековым, Н.Н. Никифоровой, С.С.Хусамиддиновым, А.К.Курскеевым, М.А.Самохваловым.

Глубокую признательность автор испытывает дирекции Института сейсмологии НАН РК за предоставленную возможность интенсифицировать практическую работу данного направления.

Представленный экспериментальный материал получен на аппаратуре, разработанной В.И.Ключанцевым (ТПИ, Томск) и К.Такахаши (научно-исследовательской лаборатории коммуникаций (LTR),Токио), А.Рожной (ИФЗ РАН, Москва), с которым автора связывает многолетнее творческое сотрудничество.

При выполнении работы всестороннее содействие оказывали сотрудники руководимой автором лаборатории геофизических методов прогноза землетрясений: Э.О.Раяпов, С.Н.Байло, А.К.Каниметова, А.Ж.Байбосунов.

Всем им автор выражает искреннюю благодарность.

Глава I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОБОЛОЧКАХ ЗЕМЛИ В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ (ОБЗОР)

1.1. Исторические сведения.

Первые сведения о землетрясениях и их связи с другими явлениями приводятся в рукописных трудах Среднеазиатских философов Абу-Али Ибн Сины (XI в.), Абу-Райхана Беруни (XIV в.) и др. Например, в "Китабашшифа" Абу Али ибн Сина выделяет четыре типа землетрясений с различной частотой повторяемости и пытается объяснить влияние Луны и Солнца на частоту их проявления [1].

Мысль о связи электромагнитных явлений с землетрясениями больше столетия назад высказал Гумбольдт. Вот так писал об этом в 1903г. Ж.Дари: "Земное электричество производит бури, которые разрушают внутреннее строение нашей Земли, точно так же, как бури в атмосфере приводят в беспорядок воздушное пространство. Мы говорим об известных всем землетрясениях, причиной которых служит, несомненно, электричество ...земное электричество скапливается... перерыв тока в конце концов ведет к разряду и искре, совершенно так же, как бывает во время воздушной грозы ... такие разряды вызывают сотрясение почвы на расстоянии сотни верст ..." [2].

Это написано на основе целого ряда наблюдений [2], которые в то время нельзя было правильно понять.

К наиболее многочисленным наблюдениям следует относить световые явления в атмосфере перед землетрясениями, о которых сообщалось еще в Древнем Риме в 373 г. до н.э. Отмечалось "особое" свечение атмосферы в виде широких полос, сравнимое с полярным сиянием. Свечение представлялось "огненным" туманом, разгорающимся и гаснущим с периодом в десятки секунд. Описывались вспышки исполинских бесшумных молний. Многочисленные сообщения о свечении поверхности Земли перед и во время землетрясений.

В конце XIX в. писали о шумах в микрофонах и телефонных аппаратах, подобно тому, что слышали во время атмосферных гроз.

В этот же период отмечены возмущения геомагнитного поля перед и во время сейсмических событий. Так, например, в работе [3] находим, что в 1887г. в период Лигурийского землетрясения " на станциях в Перпиньяне на юге Франции, Парижской магнитной обсерватории, в Мадриде и Милане, почти одновременно с первым ударом обнаружены большие возмущения геомагнитного поля". В отчете Казанской обсерватории за 1880г. [4], указывается, что землетрясения сопровождалось сильными магнитными возмущениями.

Маскар писал [5], то "магнитные приборы отмечали не движение почвы, а скорее прохождение электрических токов, развивающихся в почве в известный период землетрясений".

В начале первой половины XX в. также приводились примеры возмущений геомагнитного поля перед землетрясениями в Европе и Японии. В этот же период обнаружены изменения магнитных свойств горных пород при их деформировании. Поэтому мысль о связи возмущений геомагнитного поля с геотектоническими процессами получала определенное обоснование. Предполагалось существование связи вариаций геомагнитного поля с "процессами, происходящими в геосинклиналях и главным образом на стыках геосинклиналей" [5], т.е. в областях с повышенной сейсмичностью. Действительно при измерениях на профилях через разломы земной коры сообщалось о выделении возмущений геомагнитного поля [6]. По существу, эти данные явились обоснованием для постановки специальных работ на разломах для установления связей вариаций геомагнитного поля с сейсмичностью [7].

В 1924г. Е.А.Чернявский [8] проводил исследования электрических свойств атмосферы в сейсмоактивном районе. За 2 часа до Джалалабадского землетрясения он наблюдал аномалии атмосферного электрического потенциала. В 1949-51гг. аналогичные наблюдения выполнялись В.М.Говорковым и В.Ф.Бончковским [9]. Проведены также сопоставления возмущений земного электрического поля с сейсмической активностью [10].

Продолжали накапливаться наблюдения световых явлений перед землетрясениями: Германия - 1911г., Япония - 1924 и 1940гг., Крым - 1927г., Карпаты - 1940г., Ашхабад - 1946 и 1948гг.

Можно констатировать, что в первой половине XX в. не были опубликованы работы, в которых обсуждались природа и механизм возбуждения электромагнитных эффектов в связи с сейсмичностью.

В то же время необходимость изучения электромагнитных явлений сейсмической природы становилась очевидной. А.Калашников в 1954г. писал [7]: "Разработка теории землетрясений, по-видимому, невозможна, если оставаться в области рассмотрения чисто механических процессов, протекающих в очагах землетрясений. В этих случаях происходят также тепловые и электромагнитные процессы... Очень может быть, что причиной механических процессов, относящихся к землетрясениям и наблюдаемым на поверхности Земли, являются протекающие в глубине коры тепловые и связанные с ними электромагнитные процессы, которые предваряют механику сейсмоявлений. Эти немеханические процессы, при возможности их наблюдения на поверхности Земли, могут явиться подлинными предвестниками землетрясений".

В 1949г. В.Ф.Бончковский отметил, что один из способов прогноза времени землетрясений связан с регистрацией электромагнитных волн до и во время землетрясений [11].

В 1954 г. задача прогноза времени сейсмических событий была поставлена в разработанной под руководством академика Г.А.Гамбурцева первой советской программе работ по прогнозу землетрясений [12,13]. В программе планировались на основе комплексного геолого-геофизического изучения сейсмического режима земной коры создать физические предпосылки прогноза времени землетрясений. При этом основное внимание должно было быть уделено изучению сейсмического режима /изменения сейсмичности во времени/ и медленных колебаний земной коры. Отмечалось, что изыскания методов прогноза времени землетрясений следует направлять в первую очередь в сторону поисков механических предвестников землетрясений. Поиски могли быть успешными только в том случае, если они будут основываться на глубоком изучении всех деталей механизмов быстрых и медленных движений блоков земной коры сейсмоактивных районов. Одновременно с этим должны были продолжаться работы по изысканию иных физических явлений /магнитных, электрических/, предшествующих и сопровождающих землетрясений [13]. Г.А.Гамбурцев подчеркивал, что изыскание методов прогноза времени землетрясений станут более целеустремленными, если они будут строиться на основе более или менее определенных представлений о механизмах землетрясений, хотя и гипотетических.

В первой программе были сформулированы физические предпосылки деформационных предвестников, причем их основа является актуальной и в настоящее время. Коротко изложим эти представления: "Земная кора в процессе своего развития расчленена на крупные, относительно прочные блоки, разделенные ослабленными зонами /сейсмические швы/. Эти блоки испытывают медленные относительные смещения /поднятия и опускания/, приводящие к накоплению сдвиговых напряжений в ослабленных зонах. Там, где напряжения превышают предел прочности, возникают очаги землетрясений. Разрушение в одном месте шва приводит к перераспределению всего поля напряжений. Вследствие этого землетрясения, происходящие в одном шве или системе швов, генетически связаны. Вместе с другими тектоническими движениями они образуют единый процесс и определяют как общий режим, так и наиболее важную его особенность - сильные землетрясения. Для выявления механических предвестников землетрясений предполагалось использовать измерения деформации и наклонов, которые выявляют особенности режима, предшествующего землетрясениям" [13].

Такие работы были начаты на полигонах в СССР. Аналогичные исследования проводились в США и Японии. Помимо изучения

предвестников механической природы /сюда относим также измерения электрического сопротивления среды/ проводились наблюдения вариаций геомагнитного и теллурического полей.

Однако исследования природы источников электромагнитных явлений при сейсмических процессах не были предприняты вплоть до середины 70-х гг. Причина одна. Оставались неясными ни природа, ни процессы возбуждения источников электромагнитных явлений.

Толчком к изучению электромагнитных явлений, возбуждаемых при сейсмотектонических процессах, послужили лабораторные исследования электризации при деформации и разрушении материалов.

Следует подчеркнуть, что лабораторные исследования не преследовали целей, связанных с проблемой прогноза землетрясений.

В результате проведенных в 60-х гг. лабораторных исследований различных материалов, в том числе и горных пород, обнаружено, что электризация сопровождается световыми вспышками, электромагнитным излучением в радиочастотном диапазоне, возбуждением локальных токов и переменных электрических полей [14-17].

Световые явления и радиочастотное излучение связывались с процессами разделения при деформации и разрушения электрических зарядов и их последующей релаксации. Процессы разделения заряда рассматривались на основе донорно-акцепторных механизмов перераспределения электронов и ионов при межмолекулярном взаимодействии контактирующих поверхностей [14] или связывали с неоднородной деформацией на бортах развивающихся трещин и движением заряженных дислокаций и их скоплений, в том числе на вершинах трещин [15, 16]. Другой тип электризации обусловлен электрокинетическими явлениями при перемещении в капиллярах или контактах жидкостей [17].

При деформации и разрушении твердых тел плотность разделенных зарядов зависит от многих факторов: концентрации и типа примесей на дислокациях, размеров зерен, кристаллографической ориентации зерен относительно направления деформации, скорости нагружения, дефектности кристаллического строения. Для различных типов образцов, исследованных в лабораторных условиях, плотность разделенных зарядов лежит в широких пределах: 10^{-10} - 10^{-11} Кл/м [14-16].

При плотности поверхностных зарядов порядка 10^{-10} Кл/м и раскрытии трещин на расстояние, большее нескольких микрон, возможен электрический пробой промежутка, сопровождаемый световыми вспышками и радиочастотным излучением. Спектр радиоизлучения достаточно широкий. Известны измерения на частотах до 12 МГц. Максимум излучения приходится на диапазон 5-10 кГц и 100 кГц [16]. В более поздних работах сообщалось об индивидуальных особенностях

спектра радиоизлучения каждого из материалов [18]. В последнее время пришли к выводу, что механизм газового пробоя на бортах трещин не является доминирующим в формировании радиочастотного излучения. Необходимо учитывать радиоизлучение зарядов, перемещающихся в процессе деформации с дислокациями и вершинами трещин [19].

Отметим также, что такие перемещения зарядов формируют в образцах систему токовых источников. В лабораторных условиях исследован электретный эффект, связанный с накоплением и длительным сохранением разделенных электрических зарядов. Длительная устойчивость разделенных /при воздействии различных силовых полей/ зарядов на хорошо изолированных от внешней среды образцах обусловлена большим временем релаксации свободных носителей заряда. Однако для образцов с проводимостью 10^{-10} См/м, в том случае и горных пород, время релаксации небольшое: 10^{-10} с /при 10^6 В/м/.

Используя данные лабораторных исследований, А.А.Воробьев высказал предположение о возможности процессов электризации в земной коре при сейсмических процессах [20,21]. Он полагал также, что и сами землетрясения вызываются процессами электризации, т.е. механоэлектрическими преобразованиями (МЭП) в земной коре, при которых происходит разделение на большие расстояния электрических зарядов, накопление их и последующий гигантский пробой среды. Здесь, по существу, был перенесен опыт лабораторных исследований на условия земной коры. При этом не учитывались особенности известных наблюдений световых явлений перед землетрясениями и свойства земной коры, существенно отличающих ее от лабораторных образцов и условий их нагружения. Так, в рамки лабораторного опыта не укладывались наблюдения световых явлений перед землетрясением. При разрушении лабораторных образцов световые эффекты "привязаны" к бортам развивающихся трещин или /поверхности образцов, а перед землетрясениями световые эффекты наблюдались в атмосфере, т.е. далеко за пределами трещин и разрывов в земной коре [192].

В земной коре со средней проводимостью 10^{-10} См/м и при весьма низких скоростях деформаций, накопления электрических зарядов ожидать нельзя, так как непрерывно будет происходить их компенсация на внешних границах путем перераспределения зарядов в окружающей проводящей среде. Постоянная времени релаксации зарядов в земной коре лежит в интервале 10^{-10} с.

Особое недоверие встретили идеи [20,21] о происхождении радиочастотного излучения от многочисленных механоэлектрических преобразователей /МЭП/ из области очага. Трассой распространения сигналов является среда, для которой коэффициент затухания на частотах 10-1000 кГц превышает 10^{-10} дБ/км [22]. Поэтому

высокочастотная составляющая излучения должна полностью затухать при прохождении через реальную горную сферу.

Естественно, что в таком виде идеи [21] не могли быть восприняты, и действительно, авторы отказались от них почти через пятнадцать лет [23].

К началу семидесятых годов были сообщены результаты исследований в рамках первой программы работ по прогнозу землетрясений. Г.А.Гамбурцевым, Ф.В.Ризниченко и И.Л.Нерсесовым были организованы широкие поиски предвестников землетрясений. Начаты детальные исследования сейсмического режима и выделение предвестников землетрясений в наблюдениях наклонов и деформаций поверхностных слоев Земли, в магнитных и электрических эффектах. Однако, как отметил М.А.Садовский [24], если оценивать результаты в аспекте задачи предсказания времени землетрясения, то положительных результатов добиться не удастся. В то же время проведенный поиск способствовал уточнению знаний о природе подготовки землетрясений и радикальному улучшению методов геофизических и сейсмологических наблюдений. В результате этих работ приобретен необходимый опыт, позволивший сформулировать требования к комплексности исследований [24]. При последующей постановке таких комплексных работ предполагалось получить данные по возмущениям электромагнитных и геофизических полей в процессах подготовки землетрясений [24,25].

В 1971г. в СССР разработана Вторая программа работ по поиску предвестников землетрясений [26]. Она была нацелена, с одной стороны, на всестороннее изучение характеристик земной коры и верхней мантии, т.е. среды, в которой развиваются сейсмотектонические процессы, а с другой - на изучение физических процессов, сопровождающих подготовку и протекание землетрясений. По предложению М.А.Садовского в этой программе значительное внимание уделено лабораторному моделированию процессов в земной коре. Планировалось продолжить в сейсмоактивных районах исследования особенностей вариаций геомагнитного поля и земных токов. Близкие программы реализовывались в США и Японии.

Однако и в этих программах работы по изучению электромагнитных явлений оставались ограниченными. Продолжала оставаться неясной теоретическая основа связи этих явлений с сейсмическими процессами.

Тем не менее, в начале семидесятых годов, исходя из опыта лабораторных исследований электромагнитных полей предприняты наблюдения за возмущениями естественных импульсных электромагнитных полей (ЕИЭМП) в сейсмоактивных районах. Измерения проводили в диапазоне 10-100 кГц, где фоном являлись поля,

формируемые излучением многочисленных молниевых разрядов и радиокоммуникационными системами. Критерием связи возмущений ЕИЭМП с сейсмическими процессами служило их временное совпадение, при котором сейсмическое событие происходило на спаде или сразу после окончания возмущения поля.

Наиболее регулярные наблюдения были организованы в Средней Азии по инициативе А.А.Воробьева Томским политехническим институтом, Пржевальским государственным педагогическим институтом, Институтом сейсмологии НАН УзССР [1,27-29].

Аналогичные работы были начаты в Институте физики Земли РАН /М.Б.Гохберг и Г.А.Соболев с сотрудниками [1,30,31]/.

Итоги экспериментальных работ в период 1974-1981гг. обобщены в монографии, где был дан критический обзор возможных источников электромагнитных предвестников землетрясений, определены условия их возбуждения[154]. Эти представления стали основой для дальнейшего развития работ. К числу принципиальных выводов относились следующие положения: 1) период проявления электромагнитных предвестников связан с длительностью фазы начавшегося разрушения земной коры, заканчивающийся динамическим разрывом, 2) возмущения естественных электромагнитных полей могут быть обусловлены возбуждением в земной коре множества локальных МЭП, образующих конструкции излучателей или распределенных на значительных площадях, 3) вероятные источники возмущений естественных электромагнитных полей могли быть расположены в поверхностных слоях области подготовки землетрясений или в верхних слоях атмосферы /нижней ионосферы/.

В начале восьмидесятых годов начаты разработки моделей сейсмоэлектрических преобразований в земной коре и сейсмоионосферных взаимодействий. Развитие теории, опыт лабораторных и полевых работ сделали возможным проведение целеустремленных исследований электромагнитных явлений, сопровождающих разрушения земной коры с целью поиска предвестников землетрясений. Этому в значительной мере способствовали успехи, достигнутые в физике и механике разрушения, разработке моделей подготовки землетрясений /лавино-неустойчивого трещинообразования, дилатантно-диффузионная и консолидации/, горной среды и сейсмического режима /М.А.Садовский/.

На основе этих моделей и с учетом геолого-геофизических особенностей регионов стала возможной постановка комплексных исследований сейсмического режима и связанных с ним вариаций различных геофизических полей /включая электромагнитные/ для разработки стратегии поиска предвестников места, силы и времени

землетрясения. Развитие методов автоматизированного контроля впервые обеспечило работы по проверке выдвинутых исходных положений о природе геофизической среды и процессах, протекающих в ней, техническими средствами.

С учетом этого разработана под руководством М.А.Садовского новая программа работ по прогнозу землетрясений [32]. В предисловии к ней М.А.Садовский отметил, что должно быть уделено особое внимание малоисследованным электромагнитным процессам, возбуждаемой в земной коре. Программа электромагнитных исследований выделена в специальный раздел.

Были сформулированы следующие основные направления работ:

1) исследования возмущений естественных электромагнитных полей в различных оболочках Земли и особенностей их проявления при активизации сейсмической активности.

2) поиск геологических структур, чувствительных к возбуждению электромагнитных полей при слабых деформационных воздействиях;

3) теоретические разработки моделей источников электромагнитных предвестников землетрясений;

В рамках этих направлений в последующие годы развивались работы в СССР и других странах по изучению электромагнитных явлений, сопровождающих процессы разрушения в земной коре.

1.2. Природа и характер фоновых вариаций естественного импульсного электромагнитного поля (ЕИЭМП) в сейсмоактивных районах

Для выявления связей возмущений ЕИЭМП с сеймотектоническими процессами необходимо выделять возмущения, обусловленные источниками несейсмического происхождения.

В природе существует широкий спектр электромагнитных полей, генерируемых различными источниками. Интересующие нас импульсные поля могут быть искусственного (промышленные объекты и радиотехнические средства коммуникаций) и естественного происхождения. Влияние промышленных помех можно свести к минимуму выбором места наблюдений, типа антенны и частоты наблюдений. Аналогичным образом можно исключить влияние сигналов радиопередающих устройств и других средств связи [33-38].

К источникам естественного происхождения относятся грозовая деятельность и процессы в ионосфере и атмосфере, вызванные действием различных внешних факторов. Основным источником фоновой интенсивности ЕИЭМП являются близкие и далекие грозовые разряды, или так называемые атмосферерики, поэтому на рассмотрении их необходимо остановиться подробнее.

1.2.1. Атмосферика

Атмосфериками называются те электромагнитные импульсы, которые возникают в процессе развития грозового разряда, а также при некоторых других явлениях в атмосфере. Возбуждаемая при разрядах электромагнитные импульсы, распространяясь по волноводу Земля - ионосфера, принимаются на больших расстояниях /33,39 - 41,42 - 44,45,46/.

Не вдаваясь в рассмотрение термодинамических причин образования гроз, прежде всего рассмотрим вопрос о распределении гроз во времени года и суток. В средних широтах наибольшее число гроз падает на лето (июнь-июль), а наименьшее - на зиму. Но из этого общего правила есть исключения. Так, довольно много зимних гроз наблюдается в Великобритании, Исландии и Норвегии, что связано с близостью теплого течения Гольфстрим. Для тропической и субтропической зон земного шара наибольшее число гроз характерно в дождливой период (летний и зимний сезоны дождей).

Во времени суток грозы распределяются так, что наиболее богата ими вторая половина суток (от 13 до 24 часов), причем чаще всего грозы наблюдаются между 15 и 18 часами. Реже всего грозы бывают в утренние (5-7) часы. Нередки они в поздние вечерние и ранние ночные часы, особенно на юге и юго-востоке Европейской части СНГ, причем эти ночные грозы отличаются большей продолжительностью и интенсивностью по сравнению с дневными.

Продолжительность гроз в разных местах и в разное время года весьма различна. В средних широтах больше половины гроз имеют продолжительность около часа и менее и лишь сравнительно небольшое число гроз длится более 4 часов. Особенно длительны грозы в горах. Однако выше 5,5 км грозы не наблюдаются. Велика продолжительность гроз также в тропических областях, где отмечены грозы, продолжавшиеся более 12 часов.

Вообще в тропических и экваториальных областях грозовая деятельность развита намного интенсивнее, чем в средних широтах. Это проявляется не только в отмеченной выше длительности гроз, но также и в общем числе молний и их частоте во время одной грозы. В северных широтах нередко грозы, при которых наблюдается всего несколько

молний, проскакивающих через сравнительно большие промежутки времени. В тропических грозах молнии, и притом интенсивные, наблюдаются через очень короткие промежутки времени (в несколько секунд), так что общее число молний во время одной грозы составляет нередко несколько сотен и даже тысяч. Все области с максимальным числом гроз располагаются над континентами. Таким мировым очагов гроз можно узнать несколько: Центральная Африка (150 грозových дней в году), Центральная Америка (142 дня), Центральная Бразилия (106 дней) и район-Австралии - Явы (220 дней).

Над океанами грозы наблюдаются чаще всего в зимние время, а в суточном ходе максимум имеет место в ночные часы после полуночи.

Кроме суточного и годового хода в развитии грозовой деятельности на Земле имеют место изменения от одного года к другому, причем в этих изменения намечаются определенная 11-летняя периодичность, связанная с такой же периодичностью в солнечной активности.

На рис. 1 и 2 представлены карты распределения числа грозových разрядов и продолжительности гроз на земном шаре, на которых хорошо выделяются мировые очаги грозовой активности, а на рис. 3 показаны суточные изменения грозовой активности над континентами. По литературным данным, на земном шаре в течение года возникает примерно 8,5 · 10⁹ грозových разрядов, то есть около 270 разрядов в секунду. Над континентами в среднем появляется 170 разрядов, а над океанами - около 100. [46, 47].

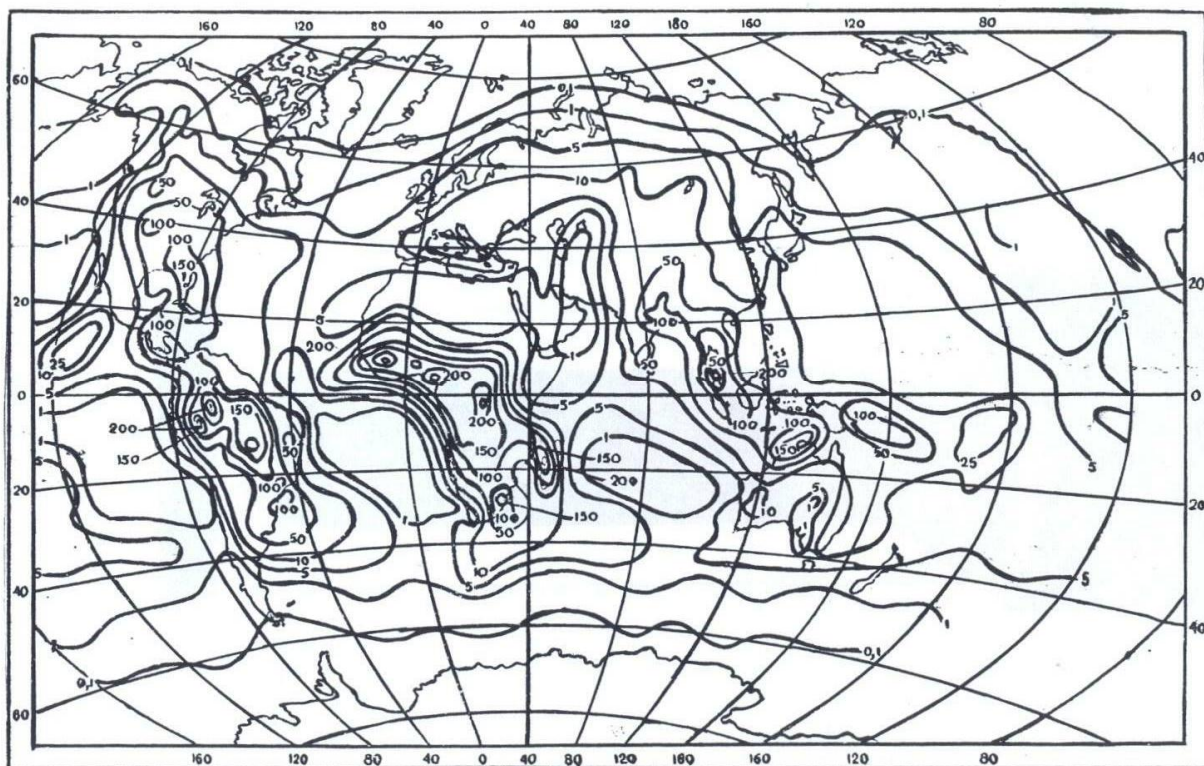


Рис. 1. Карта суммарного распределения числа грозовых разрядов
(в год на 1 км^2) (по 47)

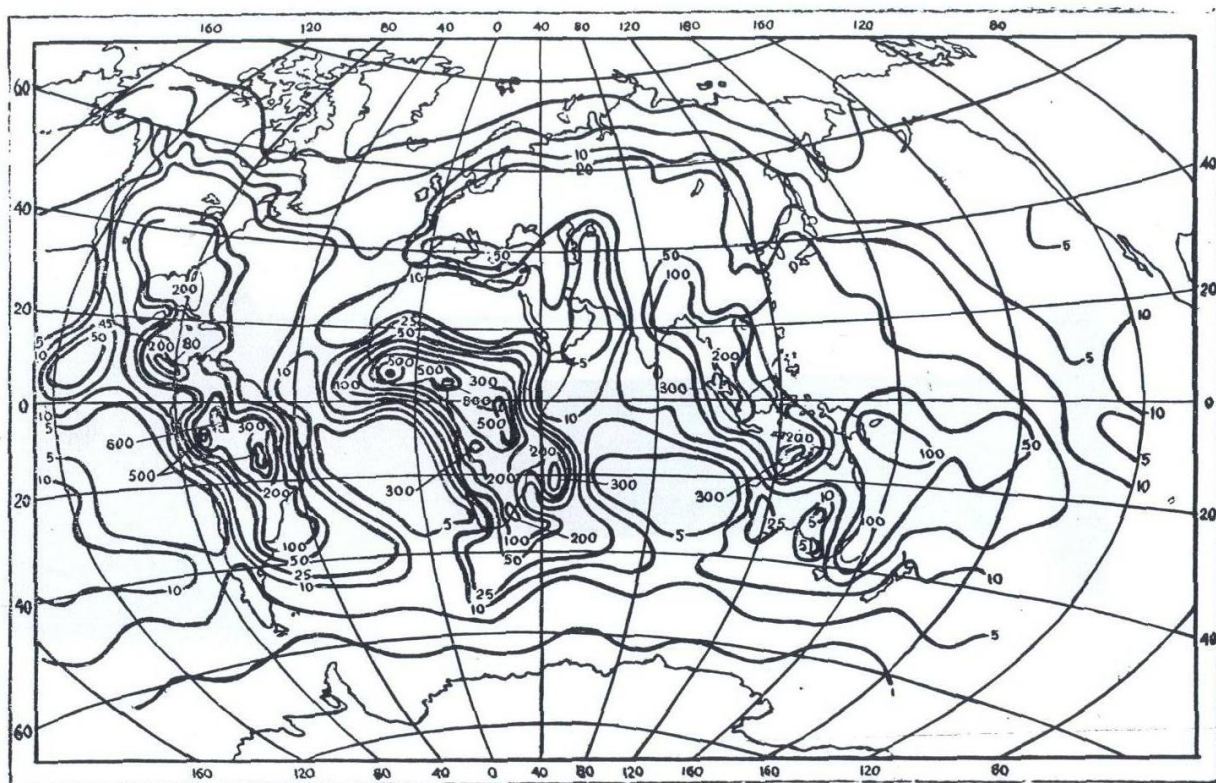


Рис. 2. Карта средней годовой продолжительности гроз на земном
шаре (в часах) (по 48)

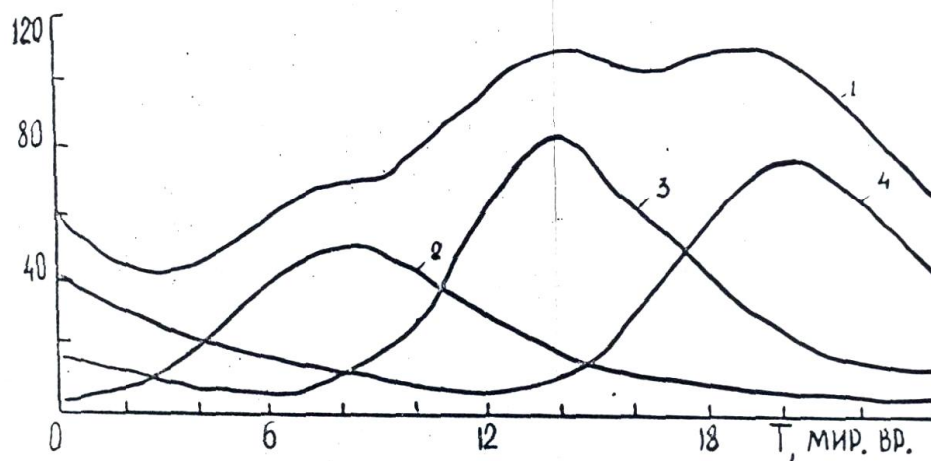


Рис.3. Суточные изменения грозовой активности по континентам (35): 1 - по земному шару, 2 - по Азии и Австралии; 3 - по Европе и Африке, 4 - по Америке

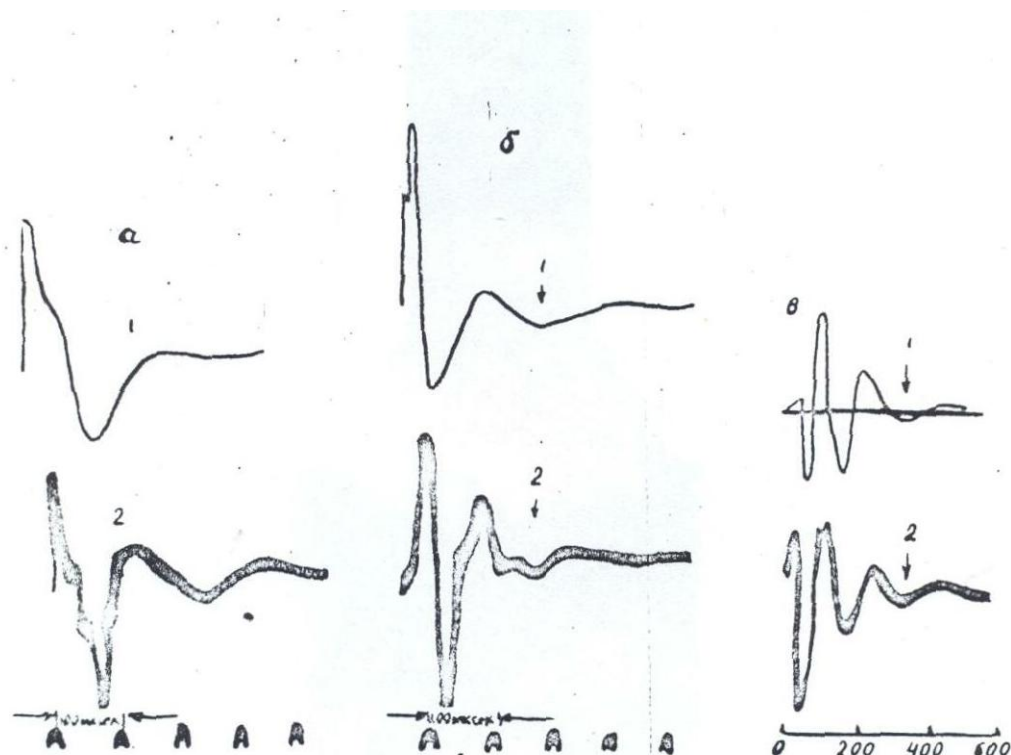


Рис. 4. сигнал, рассчитанный теоретически (1), и атмосферик (2), зарегистрированный на расстояниях: а - ч = 500 км, б - ч = 1500 км, в - ч = 3000 км.

Грозовой разряд является очень сложным процессом, который состоит из предварительного лидерного разряда и основного, несравненно более интенсивного, главного разряда, протекающего аperiodически, и ряда последующих разрядов. Полная продолжительность

развития всего процесса достаточно велика, но из нее только ничтожное время приходится на главный и последующий разряды, во время которых в каналах молнии протекают громадные токи, являющиеся, в основном, источниками излучения. Аperiodический характер основ

ного грозowego импульса определяет сплошной характер спектра излучения, поэтому атмосферерики обнаруживаются на всех длинах волн. Однако в спектре такого аperiodического излучения особенно интенсивны частоты, период которых соответствует длительности основной части импульса, то есть $2 \cdot 10^{-6}$ Гц. Наблюдение показывают, что на длинах волн 15000, 1000 и 100 м значения интенсивности атмосферных помех будут соответственно 100,4 и 0,5 мкВ/м [49,47,48].

Изучение формы атмосферериков, принимаемых на различных расстояниях от их источника, показало, что атмосферерик вблизи от источника имеет форму аperiodической возрастающей кривой, по мере увеличения расстояния форма кривой значительно усложняется. На больших расстояниях (сотни км) процесс принимает постепенно характер сильно затухающих квазипериодических колебаний. На рис. 4 приведены типичные формы атмосферериков на различных расстояниях от источника [33,40].

Источники всех атмосферериков можно разделить на регулярные и нерегулярные. Регулярными источниками являются мировые очаги грозовой деятельности в тропических областях. Излучаемые ими атмосферерики могут быть обнаружены постоянно и наиболее ярко проявляются в ночное время. Нерегулярные источники по большей части весьма тесно связаны с местными грозами и другими явлениями (пылевые и снежные бури и т.д.). Поэтому суточные и сезонные вариации атмосферериков являются результатом совокупного влияния трех факторов:

1) суточных и сезонных изменений грозовой активности в радиусе действия приемного устройства,

2) таковых же изменений в мировом расположении грозowych очагов и, наконец,

3) изменений условий распространения радиоволн в волноводе Земля-ионосфере. Особенно следует считаться с ролью третьего фактора, так как условия распространения всех длин волн значительно улучшаются в ночные часы и ухудшаются в дневные часы. Поэтому в ночные часы будут лучше регистрироваться атмосферерики, приходящие из мировых грозowych очагов. В дневные часы сильнее сказываются близкие грозы, имеющие максимум своего развития в послеполуденные (15-18 часов) и минимум

в утренние (5-7) часы. Все это определяет сложность суточного хода атмосфериков.

Основной чертой суточного хода атмосфериков является минимум в утренние часы, который четко выявляется в любой точке. В холодную половину года максимум интенсивности регистрируется в середине ночи, а летом - дополнительно после полудня (15-18 часов).

Причиной этого является, как указывалось выше, усиление грозовой деятельности близких очагов в дневные часы летнего времени. В годовом ходе, естественно, наиболее высок уровень атмосфериков в летнее время, так как грозы - в основном явление теплого времени года.

Имеющиеся в настоящее время данные не позволяют всегда точно отделить атмосферички грозового происхождения от атмосфериков, вызванных другими причинами. Число последних может быть значительным, хотя несомненно, что основным источником атмосфериков является грозовая деятельность. Это подтверждается сопоставлением статических данных о числе источников атмосфериков с числом отмеченных наблюдением гроз [50].

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что интенсивность ЕИЭМП в точке приема является функцией грозовой деятельности, условий распространения электромагнитных волн, то есть состояния ионосферы, а также выбранной частоты наблюдений. Поскольку грозовая активность и параметры ионосферы имеют регулярные суточные и сезонные изменения, интенсивность ЕИЭМП также должна быть подвержена аналогичным изменениям.

1.2.2. Наблюдения аномальных вариаций ЕИЭМП в сейсмоактивных зонах

Наблюдения за вариациями ЕИЭМП обусловленными сейсмотектонической деятельностью, были начаты более 25 лет назад, вскоре после выхода работ А.А.Воробьева, указавшего на возможность аномальных возмущений ЕИЭМП перед землетрясениями. К настоящему времени накоплен достаточно обширный материал по регистрации возмущений ЕИЭМП перед землетрясениями. Ниже рассматриваются основные результаты проведенных исследований.

1. Первые шаги в организации наблюдений аномальных возмущений ЕИЭМП были предприняты самим А.А.Воробьевым с сотрудниками, начиная с 1972г. в районах Байкала, Камчатки и Средней Азии. Интенсивность ЕИЭМП измерялась методом скорости счета электромагнитных импульсов, превышающих заданный порог по напряженности импульсного поля, на частотах 12,5 и 23 кГц. Датчиками, как правило, служили свинцовые пластины или заземленные

металлические штыри [20,21,27,51-61]. Проведенные наблюдения позволили отметить следующие особенности в изменении интенсивности ЕИЭМП перед близкими землетрясениями с $K=10$:

- а) аномальный ход поля наблюдается за 3 или менее суток перед землетрясениями,
- б) максимум интенсивности приходится на 8-40 часов до землетрясения,
- в) землетрясения всегда происходят на спаде интенсивности,
- г) интенсивность ЕИЭМП в максимуме аномального хода в 4-5 раз и более превышает интенсивность регулярных вариаций (рис.5).

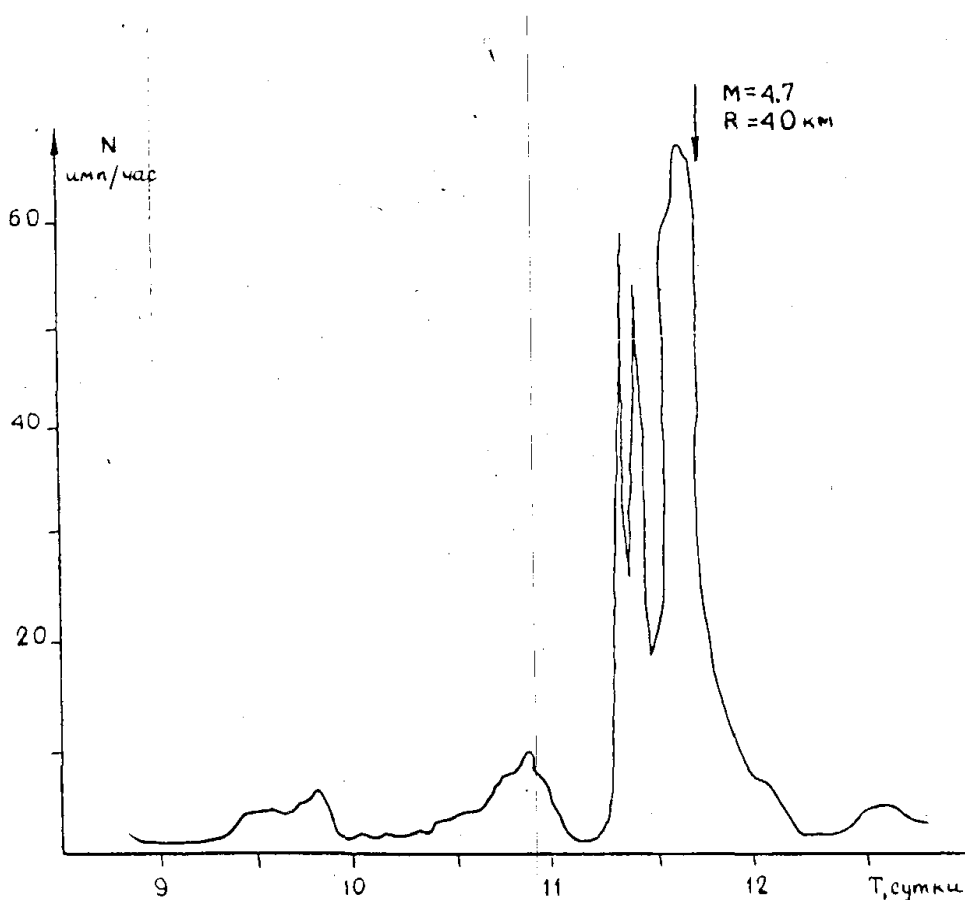


Рис.5. Увеличение числа импульсов ЭМИ перед землетрясением 12 января 1974 г. (57)

2. Институтом сейсмологии АН Узбекской ССР были продолжены работы А.А.Воробьева. Длительные ряды наблюдений были получены С.С.Хусамиддиновым при работах на Ташкентском геодинимическом полигоне в 1974-1978гг. Измерения производились синхронно на obs. Янги-Базар и Андижан (в 1974г. - obs. Чарвак) на частоте 13, 5кГц с чувствительностью приемной аппаратуры порядка 10 мкВ/м. Датчиками

служили рамочная антенна, штыревая антенна и заземленный штырь [61-67].

Достаточно детально изучались регулярные вариации (суточные, сезонные) фоновой интенсивности ЕИЭМП. В осенно - зимний период максимум сигнала наблюдался в неосвещенное время суток, а минимум в утренние часы. Для весенне-летнего периода характерны два максимума суточного хода - послеполуденный и ночной. Средняя величина суточной напряженности ЕИЭМП колебалась в пределах 50-100 мкВ/м зимой и 200-600 мкВ/м летом. В сезонных вариациях ЕИЭМП наблюдается зимний минимум и весенне-летний максимум (рис.6).

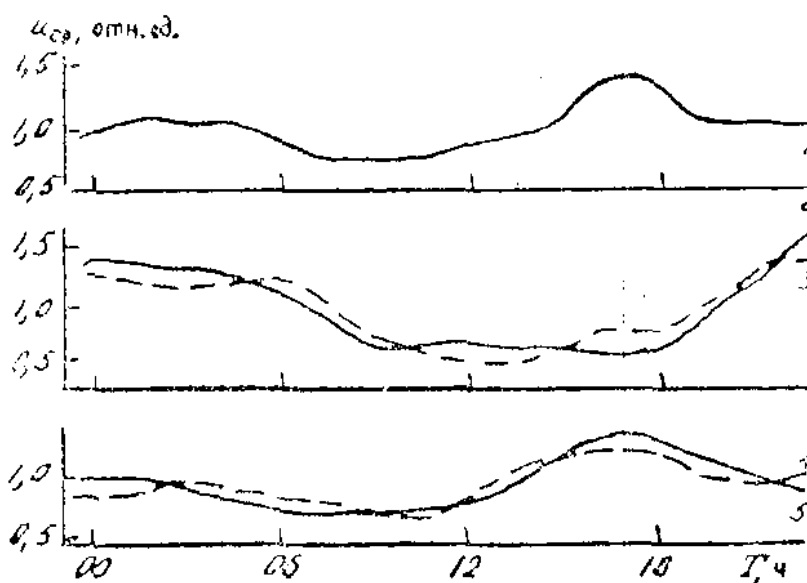


Рис.6 Суточный ход естественного ЭМИ в районе Ташкентского полигона: 1 - средний за весь период наблюдений на станции Янги-Базар; 2, 3 - среднемесячный за ноябрь 1976 г. на станциях Янги-Базар и Андижан; 4,5 - среднемесячный за июль 1974 г. на станциях Янги-Базар и Чарвак

На набранной совокупности данных, наличия связи между вариациями ЕИЭМП и таким геофизическими явлениями, как магнитные бури, ионосферные возмущения, солнечные вспышки, атмосферные осадки, перепады температуры воздуха и атмосферного давления, установить не удалось.

Аномальные вариации ЕИЭМП наблюдались за несколько суток или десятки часов до землетрясений. Амплитуда аномалий в 1,5 - 4 раза превышала фоновое значение. Обычно момент землетрясения соответствовал спаду аномалий ЕИЭМП до фонового уровня. Возмущения

ЕИЭМП, зарегистрированные в виде числа импульсов, проявлялись более отчетливо, чем огибающая интенсивности сигнала. Для большинства глубоководных землетрясений аномальные вариации ЕИЭМП отсутствовали (рис.7).

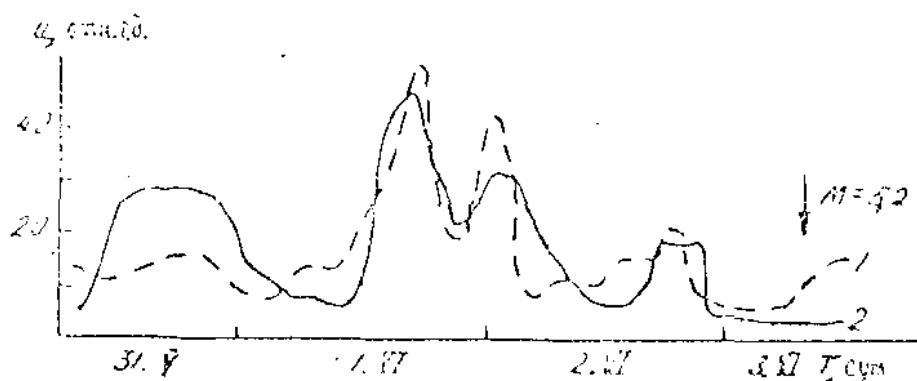


Рис. 7. Синхронные изменения аномалий ЭМИ на разнесенных станциях Андигжан (1) и Янги-Базар (2) в мае-июне 1977 г.

Из 12 коровых землетрясений с магнитудой $M=4,5-7,3$, лежавших в зоне проявления предвестников, аномалий ЕИЭМП зарегистрировано одновременно обеими станциями лишь в 5 случаях. В остальных 7 случаях аномалии наблюдались только на одной станции. Обработка полученных данных не позволила установить количественную связь между магнитудой M , эпицентральной расстоянием R , максимальной амплитудой сигнала A и временем его проявления T . Намечается лишь определенная зависимость длительности аномалии от энергии близких землетрясений ($R=100-120$ км). Возможно, отсутствие корреляции было обусловлено недостаточной статистикой.

3. Институтом сейсмологии АН Казахской ССР наблюдения ЕИЭМП были организованы на Алма-Атинском геодинамическом полигоне в обл. Тургень с 1979г. На частоте 35 кГц с помощью магнитной антенны [68]. Измерялась вертикальная магнитная составляющая ЕИЭМП. Порог срабатывания канала по регистрации импульсов составляет 5,3 мкА/м ($6,7 \cdot 10^{-10}$ нТл). Минимальное значение интенсивности ЕИЭМП в течение суток составляет 100-200 имп/час, а максимальное - 1500- 2000 имп/час. Наряду с суточными, наблюдаются сезонные вариации, имеющие характер двугорбого колебания. Минимумы излучения приходятся на осенние и весенние месяцы, а максимумы - на зимние и летние (ранние осенние). За время наблюдений зарегистрированы случаи аномального возмущения ЕИЭМП, превышающие в 10-10 раз средний уровень суточных и

сезонных вариаций ЕИЭМП. Были выделены аномалии перед Баканасским землетрясением 25.09.1979г. ($K=14$, $H=35$ км, $R=200$ км) и землетрясением 5.07.1980г. на южном склоне хребта Терской-Алатоо ($K=14$, $H=27$ км, $R=170$ км). Обе аномалии носили ярко выраженный импульсный характер. Первая возникла за 5 суток до момента толчка, а вторая - почти за 2 месяца. Следует отметить, что обе аномалии исчезли не сразу после землетрясения, а сохранялись еще некоторое время. Периоды интенсивности излучения сменялись периодами затишья.

4. Институтом геофизики АН Грузинской ССР проведены наблюдения ЕИЭМП на угольной шахте в районе Ткибули на глубине 1100 м с целью экранирования сигналов атмосферного происхождения. Регистрация велась на штыревую антенну в диапазоне частот 1 кГц-1 мГц при чувствительности аппаратуры 10 В/м. Зарегистрированы эффекты возрастания уровня ЕИЭМП от 12 землетрясений в Грузии и сопредельных районах с $K > 9,5$, которые проявлялись за несколько часов до землетрясений [69,70].

5. Институтом Физики Земли АН СССР с 1977г. широкие исследования ЕИЭМП в сейсмоактивных районах проводились в двух направлениях.

В первом направлении, возглавляемом проф. Г.А.Соболевым, использовался метод счета импульсов в полосе 0,5-50 кГц. Для исключения влияния помех естественного и искусственного происхождения выбрана низкая чувствительность приемной аппаратуры, порядка 1В/м. С помощью системы рамочных антенн осуществлялась пеленгация источников излучения, то есть определялось направление прихода сигналов с точностью до 1 градуса, что позволяет получить информацию о местоположении источников электромагнитного излучения, а также выделить возмущения, обусловленные метеорологическими явлениями. По результатам наблюдений, в Прикарпатье отмечено увеличение интенсивности ЕИЭМП в направлении, близком к эпицентру землетрясений в Румынии 4.03.1977г. ($M=7,5$ и $5,5$, $H=120$ и 20 км, $R=300$ км) [71,72,73].

Аналогичные наблюдения перед Алайским землетрясением 1.11.1978г. ($M=7$, $R=200$ км) показали, что интенсивность ЕИЭМП существенно уменьшалась в эпицентральной зоне за несколько часов до землетрясения и не восстанавливалась до нормального уровня в течение нескольких часов после него. Эффект "замирания" на удаленном пункте наблюдения (Семипалатинск) не обнаружен.

На основе наблюдений, проведенных в г. Петропавловске-Камчатском в 1977-1979гг., изучены регулярные вариации фоновой интенсивности ЕИЭМП. Выбор этого района обусловлен отсутствием местных гроз и низким уровнем промышленных помех. Действие других источников (штормовая деятельность, вулканические выбросы и т.п.)

контролировалось по наблюдениям формы регистрируемых импульсов и данным гидрометеослужбы, Института вулканологии и КМИС "Паратунка" ДВНЦ АН СССР [71].

За период наблюдений из 13 землетрясений с $K = 13$, лежащих в зоне проявления предвестников, 10 сопровождалось локальными изменениями ЕИЭМП, причем очаги всех землетрясений находились под океаном. 6 землетрясений сопровождалось локальным максимумом ЕИЭМП; а для 4-х отмечался локальный минимум ЕИЭМП, то есть наблюдался отмеченный выше эффект "замирания".

Во втором направлении работ (руководитель - проф.М.Б.Гохберг) использовалась регистрация огибающей ЕИЭМП в диапазоне от килогерц до единиц мегогерц при высокой чувствительности приемных устройств (10 мкВ/м). Использовались рамочные и шаровые антенны.

Наблюдениями в Дагестанской АССР во время Иранского землетрясения 16.09.1978г. ($M=7,5$, $H=20-25$ км, $R=1200$ км) за 55 минут до главного толчка отмечено возрастание уровня поля на частотах 27,385 и 16330 кГц. С окончанием наиболее интенсивной фазы землетрясения уровень сигнала на частотах 27 и 1630 кГц резко уменьшился, а на частоте 385 кГц оставался повышенным еще в течение 6 часов. В этот период произошло 5 афтершоков с $M = 4,7-4,9$ [30].

По аналогичной методике проводились наблюдения возмущений ЕИЭМП в Японии в рамках научно-технического сотрудничества ИФЗ АН СССР и Токийского университета и др. организаций [74]. Для определения местонахождения источника ЕИЭМП велась синхронная регистрация при наземном и подземном расположении антенн в двух пунктах на расстоянии 30 км друг от друга. Наземные наблюдения велись на магнитную антенну на частоте 81 кГц в обл. Сугадайра, а подземные - в туннеле Хокушин на глубине 60 м на шаровую антенну, фиксирующую электрическую составляющую поля на частотах 5, 1-100 и 170 кГц. За трое суток до землетрясений: корового 30.03.1980г. ($M=4$, $R=40$ км) и глубокофокусного 31.03.1980г. ($M=7$, $H=480$ км, $R=250$ км) отмечено аномальное возмущение фона, выражающего в искажении формы суточной вариации, снижении общего уровня сигнала и появлении более интенсивных иррегулярных выбросов, которые имели место до 3.04.1980г. На наземной станции за 30 минут до глубокофокусного землетрясения зарегистрировано аномальное увеличение интенсивности сигнала на 15 дБ с четкими границами возникновения и окончания, как и при Иранском землетрясении. Отличительной особенностью этих наблюдений является появление предвестника перед глубокофокусным землетрясением (рис.8 и 9). Аномальные возмущения ЕИЭМП отмечены также на независимом комплексе аппаратуры для регистрации ОНЧ-излучения в диапазоне 200-1500 Гц перед землетрясениями на обл. Сугинами вблизи Токио. К

настоящему времени аномалии ЕИЭМП перед землетрясениями зарегистрированы еще в 11 случаях, происшедших в Японии [75].

Исследования в СССР по изучению аномальных эффектов ЕИЭМП перед землетрясениями послужили толчком для постановки работ в этом направлении в других странах. В настоящее время они ведутся в Японии, Китае, США, Франции и Болгарии.

В Японии в 1982г. создана сеть пунктов наблюдений ЕИЭМП в районе Токио. На каждом пункте установлены рамочные антенны в направлениях С-Ю и В-З. Регистрация ведется а аналоговом и цифровом виде на частотах 81-82 кГц. Система наблюдений и обработка полностью автоматизирована.

Университетом г. Киото в центральной части о.Хонсю организована непрерывная регистрация ЕИЭМП на частоте 163 кГц по методу счета импульсов. С июня 1983 по июль 1984г. из 22 землетрясений с $M > 6$ выделены аномалии поля для 8 неглубоких землетрясений ($H < 30$ км),расположенных на суше или мелководной части моря [76].

В Китае были отмечены необычные радиопомехи на значительных расстояниях от эпицентра перед катастрофическими землетрясениями в Тань-Шане 28.07.1976г.($M=7,8$) и в Лонглине 29.05.1976г.($M=7,6$).

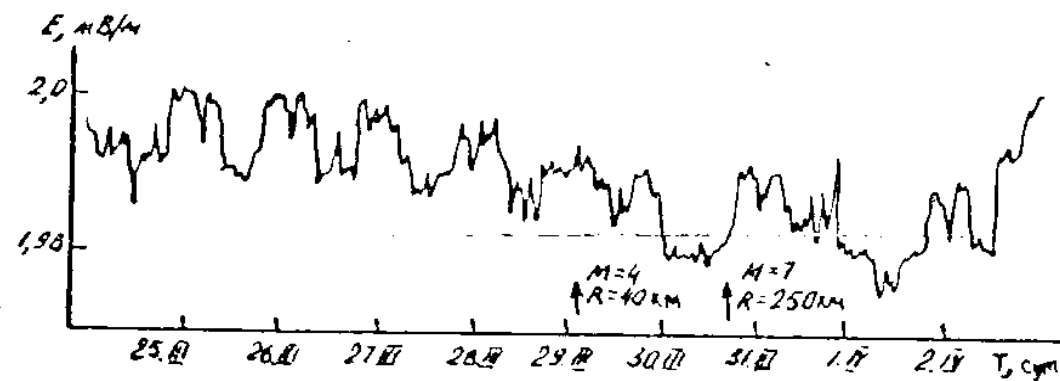


Рис. 8. Изменение суточного хода ЭМИ в тоннеле Хокушин перед землетрясением 31 марта 1980 г.

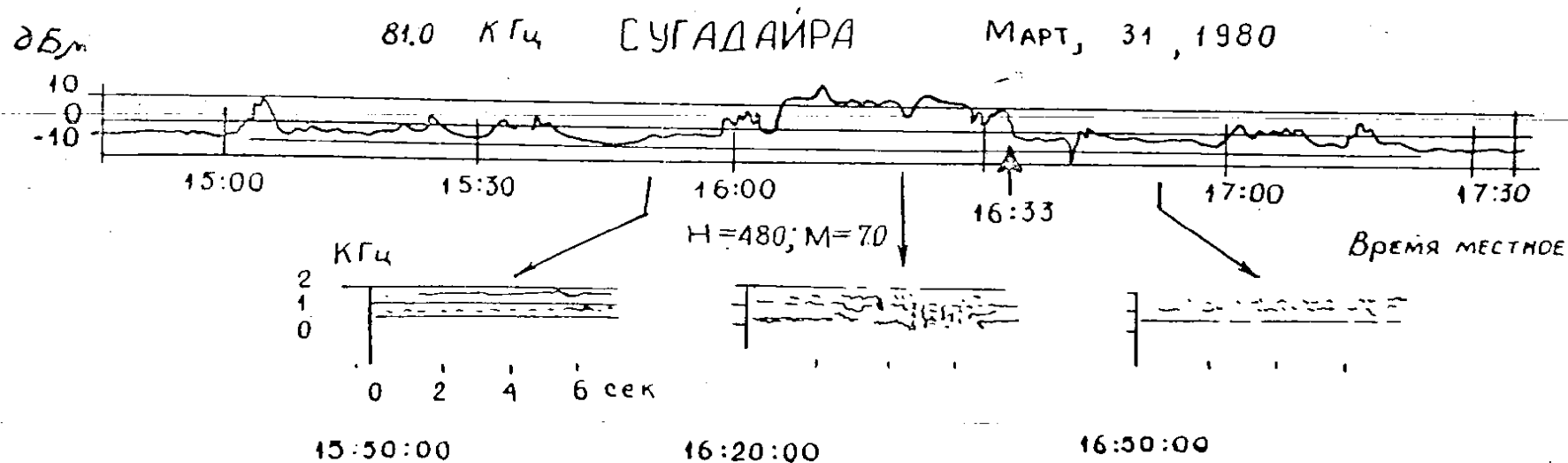


Рис. 9. Изменение уровня ЭМИ на обсерватории Сугадайра перед землетрясением 31 марта 1980 г.
(частота 81 кГц)

С 1982 г. ведутся непрерывные наблюдения ЕИЭМП на частоте 400 кГц в Северном Китае. За период 1983-85гг. зарегистрированы эффекты от 7 землетрясений ($M=4,6-6,2$, $R=90-1000$ км). Аномалии носили импульсный характер и предвещали землетрясения за несколько часов суток [77,78].

В США произведен анализ необычно короткой (около 10 минут) аномалии радиоизлучения на частоте 18 мГц, зафиксированной за несколько суток до катастрофического Чилийского землетрясения 22.05.1960г. ($M=8,5$) на сети станций по регистрации космического шума. Подобных аномалий не фиксировали за весь многолетний период наблюдений [79].

На французской станции Кергелен, расположенной в Индийском океане, рассмотренные возмущения ОНЧ - излучения от трех местных землетрясений с $M=4$ в диапазоне частот 0-10 кГц. В двух случаях отмечено возрастание уровня поля на частотах 860-3600 Гц [80].

В Болгарии общ. Витоша (вблизи Софии) организованы непрерывные наблюдения ЕИЭМП на частотах 5 и 9,6 кГц. Отмечены аномалии уровня поля за несколько часов в перед местным землетрясением ($M=3,3$, $H=10$ км, $R=10$ км) [76].

И последнее, в результате экспериментальных исследований, проведенных в сейсмоактивных районах Камчатки, Приморья, Средней Азии, США, Греции, а также в платформенных условиях Калужской и Архангельской областей, автором [81] установлено факт существования электромагнитных сигналов литосферного происхождения (ЛЭМИ) и выделена двух генетических типов сигнала: вынужденные, связанные с уже произошедшими землетрясениями, и спонтанные, не связанные напрямую с проявлениями сейсмичности. Автор на основе теоретического анализа экспериментально полученные ЛЭМС и сопоставления последних с другими геофизическими полями приходит к выводу о связи механизмов генерации спонтанных ЛЭМС с изменениями напряженного состояния вещества в земной коре, что открывает реальную возможность контроля за геодинамическими процессами. А также указывает, что эффективность инерционного, индукционного пьезомагнитного и других механизмов генерации вынужденных ЛЭМС зависит от частоты колебаний и от упругих и электромагнитных параметров среды. Определены автором критические частоты на которых преобладание одного механизма сменяется преобладанием другого, причем при характерных средних значениях параметров земной коры инерционный механизм генерации преобладает на частотах $f > 0,05$ Гц.

В диапазоне сверхнизких частот (0,01-10 Гц) показано, что с помощью специальных методических приемов удастся уверенно выделять в этом диапазоне сигналы литосферного происхождения на фоне естественных

геомагнитных пульсаций и грозových разрядов. За 4ч до Спитакского землетрясения на эпицентральных расстояниях 110-140км зарегистрировано интенсивное излучение в диапазоне частот 0,03 -1Гц. В течение нескольких дней после главного толчка также неоднократно отмечались аномальные сигналы, предваряющие сильные афтершоки. По мере спада афтершоковой активности амплитуды аномальных сигналов постепенно уменьшались до фонового уровня. Похожие аномалии в диапазоне частот 0,01-10Гц зарегистрированы перед землетрясениями 19 октября 1989г с $M = 7,1$ в Лома Приета (Калифорния). Наиболее выразительно они проявились в диапазоне частот 0,01-0,5Гц за 3ч до события.

Анализ наблюдений ЕИЭМП перед землетрясениями позволяет выделить одну важную закономерность. Максимум аномалии не приходится на сам акт землетрясения. Это означает, что механоэлектрические явления в литосфере, с которыми связывали, начиная с Воробьева А.А.[21], аномалии ЕИЭМП, возможно не играют основной роли. Но этот вопрос требует специального рассмотрения.

1.3. Атмосферно-электрические поля и световые эффекты.

Существование электрического поля в нижней атмосферы Земли, и в частности вблизи ее поверхности, установлено экспериментально еще XVIII в. В работах Я.И.Френкеля, П.Н.Тверского, И.М.Имянитова, Дж.А.Чалмерса и др. [82-90] описаны результаты исследований атмосферного электричества, пространственно-временные закономерности поведения атмосферно-электрических параметров.

При выполнении условий "хорошей погоды", т.е. при отсутствии грозовой и интенсивной кучевой облачности, осадков, метели, поземки и других атмосферных явлений, среднее значение напряженности атмосферного электрического поля E_z вблизи поверхности Земли имеет порядок 120-150 В/м над океаном и 75-125 В/м над материками и зависит от широты точки наблюдения и орографии местности. Наибольшие значения E_z наблюдаются на широтах авроральной зоны; к полюсам и к экватору поле убывает [89,91]. В высокогорных районах напряженность атмосферного поля увеличивается по сравнению со значениями, полученными на равнине не только вблизи поверхности Земли, но и на высотах 30-35 км. [92].

С удалением от поверхности Земли величина E_z быстро уменьшается и уже на высотах 5-10 км. не превышает, как правило, единиц вольт на метр. Типичные высотные профили E_z (Z), полученные в безоблачную погоду в различных пунктах бывшего СССР представлены в работах [84,93,94] Монотонное возрастание E_z с высотой свойственно

высокоширотной зимней атмосфере, в которой большую часть времени существуют устойчивые приземные температурные инверсии и следовательно, малы конвекционные токи и практически отсутствует обменный слой. Такие монотонные профили E_z аппроксимирует в области $Z < 6$ км экспонентами $\exp(-\alpha z)$, где $\alpha \approx 0,25 \div 0,4$ км.

В средних и низких широтах, особенно летом в дневное время, преобладают профили, в которых E_z максимально на высотах $Z \approx 0,5-1$ км либо $E_z(Z) = \text{const}$ при $Z < 1 \div 2$ км. При пакетных измерениях профильный напряженности атмосферного электрического поля часто в средней атмосфере на высотах 50-60 км регистрируется область с аномально высокими значениями поля, достигающими 4-6 В/м [94-95].

Временная изменчивость напряженности атмосферного электрического поля достаточно сложна и многообразна. Сезонный ее ход в средних широтах имеет максимум в зимние и минимум в летние месяцы [132], что, вероятнее всего, связано с сезонными изменениями формы профиля $E_z(z)$.

Изменения над океанами, на океанических островах и в высокоширотной зоне свидетельствуют о наличии в суточном ходе E унитарной, т.е. синхронной по всему земному шару, вариации, максимум которой приходится зимой на 18-19 UT, а летом - на 20-21 UT, минимум и зимой и летом на 3-5 UT. Столь существенные различия в суточных вариациях E обусловлены тем, что на равнинных среднеширотных станциях, расположенных внутри обменного слоя, суточный ход E обусловлен в первую очередь интенсивностью турбулентных конвективных токов, которая увеличивается с восходом Солнца. Зимой в высоких широтах этот локальный механизм менее эффективен и суточный ход E обусловлен в значительной мере унитарной вариацией разности потенциалов между Землей и ионосферой.

Более устойчивыми, подверженными воздействию меньшего числа локальных факторов, характеристиками глобальной атмосферно-электрической цепи являются плотность вертикального тока атмосфера-Земля I_z и разность потенциалов между Землей и ионосферой $V_{\text{ион}}$.

Однако измерения этих характеристик сопряжены со значительно большими экспериментальными трудностями, чем измерения напряженности атмосферного электрического поля вблизи поверхности Земли, и, естественно, объем данных j_z и $V_{\text{ион}}$, имеющих в настоящее время в распоряжении исследователей, сравнительно невелик.

Плотность вертикального тока изменяется над океанами от 3-3,2 в районе экватора до 3,6 - 4,2 пА/м в высоких широтах, а над материками - соответственно от 1,3-2,5 до 3 - 3,9 пА/м [89,97-100]. Над обменным слоем или в его отсутствие величина j_z постоянна с изменением высоты с

точностью порядка 10% [92,99]. Внутри обменного слоя существует конвекционная компонента вертикального тока, которая очень изменчива во времени, составляет в среднем 20-40% от полного тока и связана с направленной вверх турбулентной диффузией положительного объемного заряда [98,99,101]. В суточном ходе j_z , измеренном вне обменного слоя, уверенно выделяется УТ - вариация, амплитуда которой, как и у E_z при $= 0$, наибольшая зимой (33 - 35%) от среднего значения и наименьшая летом (22-25%) [89,99].

Существования в атмосфере электрического поля, закономерности поведения которого описаны выше, принято объяснять действием грозowych генераторов, наличие унитарной вариации атмосферного электрического поля -долголетним распределением областей с максимальной грозовой активностью, а высотные профили $E_z(Z)$ и $V_{\text{ион}}(Z)$ -зависимостью скорости ионообразования и рекомбинации, а следовательно, и электропроводности атмосферы от высоты.

Учитывая выше изложенное рассмотрим связь изменений АЭП с сейсмическими явлениями.

Впервые в 1924г Ташкентские геофизики В.Н.Михалков и Е.А.Черняевский наблюдали за 3-4 часа до Куршабский землетрясений ($M=6,4$) на расстоянии около 120 км от эпицентра интенсивные колебания напряженности АЭП. С помощью безинерционного струнного электрометра они зарегистрировали интенсивные пульсации потенциала атмосферы. Амплитуда колебаний превышала динамический диапазон измерительной установки 400 В/м. Период пульсации составляло доли секунды [102].

Аномальные возмущение АЭП зафиксировано также перед Чаткальским землетрясением 1946г [103]. Наблюдения проводились с помощью электрографа Бендорфа. Двадцать лет спустя также эффекты выявлены К.Э.Церфасом за 5 часов до Ташкентского землетрясения 26.04.66г. и перед отдельными его повторными толчками [104]. Аномальные колебания АЭП перед Хаитским землетрясением 1949 г. отмечены в районе Сталинабада [105]. В периоды повторных толчков этого землетрясения Б.Ф.Бончковским была организована экспедиция в район Гарма. В комплексе с другими геофизическими исследователями проводились измерения АЭП. В результате получены обнадеживающие результаты по выявлению предвестниковых колебаний перед землетрясениями.

В работе [106] проводятся сведения о наблюдаемых в Японии возмущениях АЭП сейсмической природы. Из 10 сильных землетрясений в радиусе 60 миль от Токио только одно не сопровождалось возмущениями АЭП.

В период роя Мацусирских землетрясений в 1965-67 годах на Какиокской (Япония) магнитной обсерватории проводились наблюдения градиента электрического поля атмосферы. Проанализировав 73 подземных толчка в период наблюдений Кондо [112] отмечает, что при 22 случаях поле не менялось, 46 раз наблюдалось уменьшение, один раз-увеличение. В остальных случаях наблюдались пульсации и др. виды возмущений.

В настоящее время известно ограниченное количество наблюдений особенностей АЭП в связи с сейсмичностью. По-видимому это связано с крайней его чувствительностью к различного рода метеорологическим явлениям и трудностями получения хорошего соотношения сигнал - шум.

В последние годы в связи с комплексированием методов сейсмопрогностических исследований возобновляется интерес к атмосферно-электрическим наблюдениям. Разрабатываются аппаратные комплексы для целенаправленных атмосферно-электрических измерений. В период рекогносцировочных измерений в Туркмении И.Л.Гуфельд и В.Н.Шулейкин на фоне суточных вариаций наблюдали бухтообразные отклонения вертикального тока проводимости за часы до последовательных двух землетрясений с $K = 12$ и $K = 10$ на расстоянии около 30 км от пункта наблюдения. Эти измерения авторы связывают с изменением проводимости приповерхностей атмосферы за счет возбуждения МЭП в верхних слоях земной коры [107]. Более широкие исследования проведены С.В.Анисимовым [108].

Для проверки принципиальной возможности существования пространственно неоднородного вертикального электрического поля в атмосфере были проведены прямые наблюдения с использованием электростатических флюксометров в пустыне Туркмении В.А.Моргуновым [109]. Профильные наблюдения в зоне Челекен-Кум-Дагского разлома, характеризующегося к периоду измерений активизации криповых подвижек показали наличие значительных пространственных градиентов, которые в близи разлома достигли 100В/м км, но для удаленных пунктов от разлома (42 км) эти значения составляли первые десятки В/м км. Измерение E в районе активного процесса деформирования в эпицентральных районах Газлийского 1984г, Параванского 1988г, Спитакского 1988г землетрясений не выявило сильных возмущений в электрическом поле в атмосфере. В ряде случаев отмечено заметное уменьшение поля. Наиболее интенсивный эффект депрессия поля в течение 1 часа вплоть до перемены знака наблюдался 15.02.89г. в эпицентральном районе Спитакского землетрясения перед событием с $K = 11,3$. $H = 3$ км.

Световые явления землетрясений наблюдались с давних времен. Отметим, что простые методы наблюдения этих эффектов не протерпели

изменений и до настоящего времени. Очевидцам яркой световой вспышки в эпицентре Ташкентского землетрясения был С.С. Хусамиддинов[110]. Он одновременно с подземным толчком и световым эффектом заметил тревожный лай собак. Очевидцам свечение горных хребтов и склонов (в с.Чон-Урюкты) голубоватым цветом в эпицентре Байсорунского землетрясения был автор. Свечение опережало подземные толчки на первые сек-мин. Было замечено, что свечение сопровождалось гулом.

Наиболее полные наблюдения световых эффектов, а также фотографии "предупреждающего о свечения" сделаны в Японии[111]. Отмечались световые эффекты в виде "огненного тумана", замедленных вспышек исполинских молний, длительного сияния, "разгорающегося и гаснувшего" с периодом 10-40с. Кроме того, в зоне максимальных разрушений наблюдались вспышки в виде огненных шаров.

В работе [112] проанализировав 34 случая свечений в период роя Мацусирских землетрясений 1966г (Япония), авторы характеризуют их следующим образом:

- центр светящегося тела составляет полусферу с диаметром от нескольких десятков до сотен метров, соприкасающуюся с земной поверхностью;

- светящиеся тело обычно белое, но иногда отражение на облаках рассматриваются цветным;

- как правило, свечение предшествует землетрясению. Его продолжительность составляет от первых десятков секунд до нескольких минут;

- наиболее часто свечение наблюдалось на вершинах холмов с кварц-диоритовыми породами.

- свечение часто возникает при прохождении холодных фронтов воздуха;

- во время световых явлений необычных изменений геомагнитного поля не отмечено.

В последние годы появились сведения об аномальных свечениях средней и верхней атмосферы перед землетрясениями. Аномальные эмиссии ночного неба проявляется за сутки и часы до землетрясения. Впервые такая связь рассмотрена Г.А.Насыровым [113].

Световые эффекты в момент землетрясения и период, предшествующей ему, по многим описаниям схожи. Указываемые очевидцами яркие вспышки, очевидно, появляются одновременно с подземным толчками.

В эпицентральной зоне, в отличие от удаленных пунктов, не все очевидцы однозначно указывают на опережение световой вспышкой подземного удара. Поэтому световое опережение может быть связано с

различием скоростей электромагнитных и упругих волн. В этом случае можно предположить усиление хемилюминесцентного свечения ионизированной атмосферы за счет упругих колебаний.

В момент землетрясений при многочисленных разрывах коры возникают условия для возбуждения свечения, аналогичные наблюдавшимся в лабораторных экспериментах, что отмечено в [114]. Это свечение может наблюдаться при возбуждении механоэлектрических преобразователей в поверхностном слое коры только при протекании землетрясения (свечения поверхности Земли, склонах, холмов и гор). В тоже время в рамках этого механизма не объясняется почему именно непосредственно перед землетрясением появляется свечение, тогда как это время соответствует спаду уровня электромагнитного и др. полей. Кроме того, открытым остается вопрос о природе световых явлений перед землетрясениями ("предупреждающие" свечение), т.е. при отсутствии регистрируемой сейсмичности.

1.4 Сейсмоионосферные явления

Проблему краткосрочного прогноза землетрясений в последние годы пытаются изучить с применением нетрадиционных методов. В частности, литосферно-ионосферным связям уделяется много внимания с целью получить дополнительные источники информации для прогноза землетрясений.

В 60-х годах вышел целый ряд работ, впервые посвященных ионосферным эффектам землетрясений [115-127]. Были одновременно получены и проанализированы сейсмические, атмосферные и ионосферные данные во время землетрясений на Аляске в марте 1964г., июне 1967г. и в Японии в мае 1968г. при вертикальном и наклонном зондировании обнаружены ионосферные возмущения и нерегулярности в E и F областях одновременно наблюдались возмущения геомагнитного поля, и возбуждение инфразвуковых волн. В работах [115,116,118-120,122,123,125,127] показано, что при вертикальном радиозондировании ионосферы в Боулдере во время Аляскинских землетрясений на частотах 4 и 5 МГц наблюдался доплеровский сдвиг частот до 1 Гц, ДСЧ наблюдался также на трассе Гавайи-Боулдер протяженностью 5000 км на частоте 10 МГц, в Палисадене (Нью-Йорк) были зарегистрированы распространяющиеся от эпицентра со скоростью 3 км/с релеевские волны с периодом 23 с, смещением почвы до 42 мм и амплитудой давления до 40 мкб. В Боулдере спустя 15 мин. после толчка получены записи колебания с периодами 0,5-2 сек. и 20-40 сек., период и амплитуда инфразвука вначале увеличивались со временем, затем уменьшались. Были обнаружены перемещающиеся ионосферные возмущения на высотах

слоя F ионосферы. Отмечено также возмущение геомагнитного поля во время Аляскинского землетрясения 1964г. до 100 нТ, на расстояниях 103 км от эпицентра [117, 123].

В этих и других работах [121,125,126,129,130,131,132] уделено много внимания волновым колебаниям инфразвукового диапазона при землетрясениях и взрывах, высотной зависимости распространения инфразвука. Колебания с периодом 0,5 - 2 сек регистрировались на высотах E слоя (105 км), акустико-гравитационные волны на высотах 180-190 км с амплитудой смещения частиц в волне 0,223-0,266 км, амплитудой скорости 15,6-18,6 м/с и относительным возмущением электронной концентрации 2,2-2,8%. Для периодов от 10 с до 4 мин смещение частиц максимально на высотах 150-300 км. Поскольку атмосфера действует как фильтр частоты, амплитуда давления в акустической волне с частотой 0,05 сек и выше, как показывают изменения, на высоте 220 км значительно уменьшается.

В 70-ые годы были продолжены исследования по сейсмоионосферным эффектам [63,73,128,133]. Выявлено соответствие доплерограмм при зондировании на 5 и 10 мГц сейсмическим записям во время землетрясений [131]. Впервые отмечено возможность использования сейсмоионосферной связи для прогноза землетрясений [134,135].

Помимо наземных наблюдений, в 80-е годы в СНГ и за рубежом предпринят анализ спутниковых измерений электромагнитного поля при их пролете над эпицентрными районами сильных землетрясений. Отмечены случаи совпадений всплесков электромагнитного излучения, зарегистрированного на спутниках с сейсмическими событиями [136-140].

На спутнике ОГО-6 проводились наблюдения КНЧ-излучений с помощью трехкомпонентного индукционного магнитометра в диапазоне частот 0,01-1000 Гц с чувствительностью $10^{-4} \text{ нТл} \sqrt{\text{Гц}}$. Сигнал фильтровался по семи каналам с центральными частотами 10, 22, 47, 100, 216, 550 и 1000 Гц. Для обработки отбирались случаи пролета ОГО-6 в квадрате 10 x 10 км над эпицентрами землетрясений M=5,5 за сутки до землетрясений и после них при низком уровне магнитной активности. Не обнаружено никаких эффектов при пролетах:

- над эпицентрами глубоководных землетрясений с H = 80 км (5 случаев),
- поверхностных землетрясений на дневной полусфере (4 случая),
- при больших удалениях от эпицентра (R = 900 км),
- во всех случаях над очагом после землетрясения (8 случаев).

Из 6 землетрясений на ночной полусфере в 3-х случаях отмечен всплеск электромагнитного излучения, который был идентичен по всем трем каналам.

На спутнике "Интеркосмос-19" регистрировались электрическая и магнитная составляющие низкочастотных излучений в диапазоне частот от 100 Гц до 15 кГц. Чувствительность по магнитной компоненте составила $1,5 \text{ нТл}/\sqrt{\text{Гц}}$, $1,5 \text{ нТл}/\text{Гц}$, а по электрической - $3 \cdot 10^{-8} \text{ В}/\text{м}/\sqrt{\text{Гц}}$.

Для анализа были выбраны землетрясения с $M > 5,5$, имевшие место в магнитоспокойное время. Возмущения наблюдались за десятки минут-часы до землетрясений и после них. Из рассмотрения экспериментальных данных следует, что излучение вытянуто по долготе и как бы сконцентрировано вблизи геомагнитной широты очага землетрясения ("шумовые пояса").

- до землетрясения излучение носит электромагнитный характер (наблюдается и магнитная, и электрическая компоненты), а после землетрясения поле имеет электростатический характер (наблюдается только электрическая компонента),

- имеется тенденция к увеличению электромагнитного излучения ниже частот 1 кГц (до землетрясения) и к появлению максимума излучения в диапазоне частот от 4,65 до 15 кГц после начала землетрясения.

Всплески электромагнитного излучения при пролетах над эпицентрными областями зафиксированы также геостационарных спутниках ГЕОС-1 и ГЕОС-2 в диапазоне частот 60-7500 кГц. Возмущения проявлялись в виде возрастания интенсивности ОНЧ-излучения как по магнитным, так и по электрическим каналам. Статистический анализ данных для 296 землетрясений с $M \geq 5$ за период август 1978г. по июнь 1982г. в долготном поясе, близком к долготе спутника (± 20 градусов), обнаружил корреляцию для 51 % случаев всплесков электромагнитного излучения с сейсмическими событиями. Аномалии обычно начинались за 2-7 часов до землетрясения и заканчивались либо к моменту толчка, либо через 2-3 часа после него. В ряде случаев максимум аномалий приходился на момент землетрясения. Иногда аномалии возникали после толчка. Последнее относится к наиболее высоким частотам. Отмечено, что корреляция повышается: а) для материковых землетрясений, б) с уменьшением расстояния от долготы спутника, в) с уменьшением уровня магнитной активности, г) на частотах, где наименьший уровень естественных шумов ниже 750 Гц и выше 2250 Гц, д) в 04-06 часов местного времени.

На спутнике ГЕОС-2 произведен также анализ электрического поля в диапазоне микропульсаций. Для событий, большинство из которых было с $M \geq 4$, коэффициент корреляции между сейсмическими событиями и всплесками излучения невысок, не превышает 50%.

Обнаружение на спутниках эффектов сейсмической активности стимулировало ряд новых исследований. Были определены пространственные и временные масштабы проявления подготовки

землетрясений в ионосфере на разных высотах и установлено, что во всех ее областях над эпицентрами готовящихся землетрясений модифицируются спектры вариаций ряда ионосферных параметров.

Сейсмоионосферные эффекты в E - области ионосферы.

Исследования были начаты в середине 70 годов в Узбекистане [141,142,143]. При этом считали, что регулярный E - слой доступен для регистрации только днем, и предполагалось, что эффекты сейсмической природы достаточно сильны, чтобы конкурировать с солнечными эффектами. Поэтому исследования эффектов были проведены в дневном E - слое. Впервые в работе [1] для нескольких землетрясений в Узбекистане были исследован ход среднесуточных отклонений E от скользящей месячной медианной обнаружено наличие небольшой аномалии за сутки - двое перед землетрясениями. Анализ подобных явлений были проведен также в работах [144-147].

При исследованиях сейсмоионосферных эффектов в ряде работ рассматривались землетрясения с $M > 4$, когда размер области подготовки землетрясения сравним с расстоянием до нижней ионосферы. И действительно, эффекты подготовки землетрясений начинают проявляться при магнитудах $M \geq 4$, как при фотометрических наблюдениях, так и при доплеровских измерениях [148]. Однако все другие сейсмоионосферные эффекты проявляются только при больших значениях магнитуд. Так изменчивость E_s - слоя повышается только для землетрясений с магнитудами $M > 4,5$ [149,150], а средняя плотность E_s - слоя понижается только при $M > 5$. Пространственные масштабы проявления эффектов при магнитудах $M = 4,5 \text{ -- } 5,0$ варьируют от 200 до 500 км. Эффекты в E_s - слое отсутствуют на расстояниях свыше 1500 км до эпицентра.

Сейсмоионосферные эффекты в D - области ионосферы.

Регулярные поиски сейсмоионосферных эффектов в D области были начаты в 1983г. С этой целью на высотах D области проводилось радиопросвечивание волновода Земля - ионосфера сверх длинными волнами (СДВ) точного времени фазовой радионавигационной системы (РНС) "Омега" в диапазоне 16-18 кГц. Состояние нижней ионосферы на трассе передатчик-приемник анализировалось по вариациям амплитуды и фазы сигналов передатчиков СДВ [151]. Проводились регулярные измерения характеристик сигналов РНС "Омега" и анализ их связи с сейсмическими процессами на трассах Омск-Либерия и Омск-Реюньон.

Контрольной была трасса Омск-Норвегия. В периоды подготовки землетрясений были обнаружены возмущения фаз и амплитуд РНС, причем оказалось, что фаза более чувствительна к возмущениям, вызванным сейсмотектонической активностью.

Сравнения ряда возмущений регистрируемых сигналов с рядом ближайших по времени землетрясений позволяет отметить следующие: возмущения наблюдались как за несколько суток до, так и после землетрясений, причем "всплеска" возмущений в акте землетрясений не наблюдалось.

С 1990г проводились работы по исследованию возмущений фаз сигналов СДВ на трассе Реюньон-Москва [152]. Трасса проходит через Кавказ, Восточную Турцию и Западный Иран. Использование этой трассы позволило 5 раз предложить прогноз интервала времени повышенной сейсмической опасности. Каждый такой интервал составлял до 30 суток. В четырех случаях прогноз оправдался, произошли землетрясения с магнитудой $M > 5,8$ [153].

Таким образом, результаты исследований возмущений сигналов СДВ подтверждают существование литосферно-ионосферных связей. Возмущения обнаружены, в основном, в ночное время, когда ионизация на высотах D области обычно отсутствует.

Сейсмоионосферные эффекты в F - области ионосферы.

Уже из первых ионосферных наблюдений в сейсмоактивных районах следовало предположение о возможной чувствительности критической частоты $f F$ ночного F - слоя к процессу подготовки землетрясения. Такой анализ для ряда сильных землетрясений начат в работе [154-158]. Использовались таблицы часовых значений критических частот $f F$ (из МЦД-Б), материалы 15-минутного вертикального зондирования ионосферы на ст. Душанбе и сейсмологической бюллетень. В основном изучалось состояние ночного ионосферного F - слоя за несколько суток перед событиями. При этом F - области была исследована по данным нескольких станций как вблизи эпицентральных районов (на $R = 500$ км от эпицентра), так и в областях, удаленных более чем на 10 км от эпицентров. Обнаружено, что в период подготовки землетрясения (16.11.79г, $=33.1$, $=55.1$, $=33$, $=5.9$, 15.12.80г, $=45.9$, $=90.4$, $=3$ км, $=5.8$) имело место увеличение частоты $f F$ по сравнению с медианными значениями. Максимальная разность частот достигла 2,8 мГц, причем в направлении на восток эффект выражен более ярко. Характерно, что в ночь перед землетрясением заметного роста $f F$ не наблюдалась.

Анализ критических частот для ряда других землетрясений позволил предварительно заключить, что в периоды подготовки землетрясений: а)

происходит общее увеличение электронной концентрации в F - области за 2-3 сут. до момента толчка в широкой области ионосферы + 10 по широте и + 100 по долготе. б) отмечается относительный минимум электронной концентрации над эпицентральной областью за 1 сут. до события; в) в долготном направлении имеется восточно-западная асимметрия.

Примеры комплексного изучения сейсмо- эффектов

1. В работе [159,161] рассмотрены сейсмоионосферные эффекты, связанные с Кайраккумским землетрясением 1985г. Землетрясение произошло в Таджикистане 13 октября 1985г. в 21:59LT (LT - местное время $LT=UT+6ч$), координаты эпицентра $\varphi = 40,3$ N, $\lambda = 69.8$ E, $h=3$ км, $M=6.0$. Рассматриваемый период наблюдений охватывает 6 дней, 3 дня до и 3 дня после землетрясения. Отметим, что октябрь 1985г. был богат близкими землетрясениями меньшей магнитуды, одно из них произошло за 3 дня до Кайраккумского. С этим связано ограничение исследуемого периода. Изучение проводилось в первую очередь на основе ионограмм, полученных методом вертикального зондирования ионосферы на ст. Душанбе. Координаты станции $\varphi = 38,5$ N, $\lambda = 68,8$ E, следовательно, расстояние от эпицентра Кайраккумского землетрясения до станции составляет примерно 220 км.

По параметру f_{min} за сутки до землетрясения наблюдается небольшой максимум. Перед землетрясением наблюдается уменьшение $f E$ на "-1" ночь. По параметру $n(t)$ наблюдается максимум на "-2" ночь перед землетрясением. Кроме того, в данном случае наблюдается увеличение индекса диффузности ($Y_p E_s$) в связи с землетрясением. По параметру $m(t)$ ($m(t)$ - число длиннопериодных возмущений) наблюдается рост крупновозмущенных ионосфер с периодом более 2ч. Результаты изучения временного хода приведенных ионосферных параметров подтверждают, что за сутки - двое перед землетрясением активизируются сейсмоионосферные процессы, приводящие, как можно предполагать к нагреву ионосферы и увеличению изменчивости, к уменьшению средней плотности.

Некоторые электромагнитные эффекты, предшествовавшие данному землетрясению, изучались в работе [159,160]. При исследовании естественных импульсных электромагнитных излучений на частоте 2,5 мГц за 3 суток до события было зафиксировано увеличение интенсивности поля. На частоте 12,5 кГц аналогичное повышение имело место за 2 недели до события.

2. Спитакское землетрясение. В работе [162,163] рассмотрены результаты ионосферных наблюдений в Тбилиси в дни, во время, а также

после катастрофического Спитакского землетрясения (7.12.1988, 10ч41м LT, $\varphi = 40,9^\circ$ N, $\lambda = 44,2^\circ$ E, $h = 10$ км, $M = 6,5$).

В этот же период изучались возмущения фазы при распространении СДВ волн вдоль трассы Либерия-Омск [164, 165], велись измерения вариации геомагнитного поля на обсерваториях Вардзия и Душети на расстояниях 120 и 200 км от эпицентра [162, 163], а также анализировались ионосферные эффекты землетрясения на больших расстояниях от эпицентра в Ашхабаде [166], в Москве и других местах.

Основное внимание в этих работах было уделено изучению характерных времен ряда процессов, происшедших за несколько часов и минут до землетрясений. И только для некоторых параметров исследовалось их поведение за несколько суток до землетрясения :

1. За 35 мин до землетрясения в Н и Z - компонентах геомагнитного поля появляются и в течение 30 мин сохраняются колебания с периодом - 2,5 - 3,5 мин и амплитудами 2-3 нТл. (ст. Душети, 45 км севернее Тбилиси). Далее, достигнув максимума, амплитуда начинает резко уменьшаться и непосредственно перед землетрясением такие колебания полностью исчезают. Непосредственно после главного толчка и 2 артешока проявляются на записи Н и Z компонент магнитного поля в виде импульсов, связанных с сотрясением магнитометра.

Усиление колебаний с четкой фазой сброса перед сильным землетрясением является веским аргументом в пользу сейсмогенной природы источника;

2. При наблюдениях еще в сентябре 1988 г. было обращено внимание на появление геомагнитных возмущений в диапазоне частот 0,1 - 1 Гц, с амплитудами 0,03 нТл и длительностью до нескольких часов [162]. Эти возмущения отличались от типичных пульсаций ионосферно-магнитосферного происхождения. Всплеск колебаний является квазишумовым, как правило, существенно превосходит фон, регистрируется (в отличие от геомагнитных пульсаций) в дневное время и, по крайней мере иногда, с преобладанием вертикальной (Z) компоненты над горизонтальными (Н и D) - компонентами. Имея в виду, что для этих сигналов характерно $Z/H > 1$; $Z/D > 1$, можно сделать вывод о том, что локальные источники обсуждаемых возмущений магнитного поля располагаются в земной коре и возникают в следствие развития физических процессов в сейсмоактивной зоне.

Подобный ультранизкочастотный шум с частотой 0,07-0,1 Гц и с амплитудой более 0,05 нТл наблюдался на обсерватории Душети за 4ч и закончился за 2ч 48 мин. до начала Спитакского землетрясения. Среднесуточная амплитуда УНЧ - сигналов спадала от 0,1 до 0,03 нТл в процессе уменьшения афтершоковой активности в течение 3 мес. При том

для полосы частот 0,5-5Гц, характерны два типа спектров: шумовой (0,1-5Гц) и квазимонохроматический (0,5 и 0,8 Гц);

В день Спитакского землетрясения (в периоды с 07:00 до 09:41 и с 10:10 до 13:30 (LT)) проводились измерения доплеровского смещения частоты (f_o) радиосигнала, отраженного от нижней части F-области ионосферы, соответствующей высоте отражения зондирующего радиосигнала 160-180 км. Было отмечено резкое изменение характера вариаций f_o за 1ч 45 мин до главного толчка. Одновременно с началом вариаций наблюдалось усиление радиопомех и ослабление амплитуды отраженного радиосигнала. Было обнаружено, что в течении нескольких минут до и после главного толчка наблюдается увеличение частоты фединга (f_d) и уменьшение амплитуды отраженного сигнала.

Исследование ночной ионосферы по данным вертикального зондирования ионосферы в районе Тбилиси магнитоспокойные ночи с 23.11 по 8.12.88 позволило выявить аномальное повышение электронной концентрации в максимуме ночной F - области ионосферы за 2 сут. до землетрясения.

Исследования зоны Спитакского землетрясения методом радиопросвечивания волновода Земля - ионосфера на СДВ осуществлялась регистрация фазы сигналов навигационных радиопередатчиков "Омега" на частоте 10,2 кГц по трассам Реюньон-Ленинград, проходившей через эпицентральную зону и Либерия-Омск на расстоянии около 1000 км от эпицентральной зоны. Обнаружено увеличение числа возмущений относительных отклонений фаз сигналов и интенсификация вариаций с характерными временами 2-4 часа. В ночные часы выделены возмущения, превышающие 2 . Продолжительность возмущений в ночной период лежала в интервале 1,5-7ч, а в дневной - не более 3ч.

Можно заключить, что перед Спитакском землетрясением имела место модификация спектров возмущений как в геомагнитном поле, так и в короткопериодных ионосферных движениях и отклонение фаз СДВ сигналов.

Таким образом, данные ионосферных измерений указывают на реальность литосферно-ионосферных связей на заключительной стадии подготовки землетрясений. В то же время ионосферные возмущения наблюдались также после акта землетрясения. Это также требовало анализа природы источников в литосфере воздействующих на ионосферу. Фактически был поставлен вопрос о рассмотрении альтернативных механоэлектрическим явлением процессов.

1.5. Электротеллурические поля

С середины XIX века, по мере роста сети европейских и мировых телеграфных линий, некоторые исследователи начали обращать внимание на связь вариаций атмосферного электричества, магнитных бурь с возникновением электрических токов в линиях связи при отсутствии в цепи искусственного источника. Это, в свою очередь в определенной мере стимулировало интерес к обнаружению и исследованию аномалий земных (теллурических) токов, в том числе, в связи с сейсмическими, вулканическими, метеорологическими явлениями. Изучение таких явлений велась как с помощью длинных телеграфных линий, так и на специально оборудованных установках для записи электрических токов в земле. В 1830г Р.Фокс в Карноулле, Англия впервые измерил земной ток электрохимического происхождения. В последующие десятилетия многие исследователи занимались изучением земных токов с целью выявления связей их с магнитными бурями, метеорологическими условиями, географическим распределением и.т.д. Широкие обзоры этих исследований представлены в статьях П.Бахметьева [167], А.В.Бухникашвили [168].

В сейсмологическом аспекте определенный интерес представляют работы И.Ламонта [169], который в 1860-1861гг. вел наблюдения за земными токами в Мюнхене. Он использовал несколько линий различного направления длиной от 95 до 114м, причем каждая линия имела электроды из разного металла-железа и цинка.

И.Ламонт отметил крайне возмущенное состояние земного тока с 8 до 8 30 26 декабря 1861г. и связал его "бедственным" землетрясением в Греции, происшедшим в это время [170]. Историческая ценность этой работы заключается в том, что по-видимому, впервые были причинно сопоставлены результаты инструментальных электрических измерений и землетрясение.

К началу XX века многие исследователи, учитывая большой ряд эмперических данных, признавали реальность связи электрических явлений и землетрясений. Отражением такого подхода является создание специальных программ в России и Японии для исследования сейсмических событий явлений, сопутствующих им.

Отдельного упоминания заслуживают исследования русского ученого П.Бахметьева, много сделавшего для изучения теллурических токов, методики их измерений, поисков природы возмущений земного тока. 31

августа 1894г., во время исследований вариаций электротеллурического поля в окрестностях Софии, он наблюдал необычно большие изменения разности потенциалов, которые он связал с землетрясением в г. Рушуке, происшедшим в тот же день [167]. П.Бахметьев является первым ученым, обнаружившим вариации земного тока, связанные с землетрясением и использовавшим для этого гальваническое соединение аппаратуры с землей.

Следующий значительный шаг в исследовании аномальных изменений земных токов в связи с землетрясениями сделали японские геофизики. Пионером этих исследований стал К.Ширатори, который в августе-декабре 1923г. зарегистрировал три аномалии электротеллурического поля (ЭТП), в том числе связанную со страшным землетрясением Канто 1 сентября 1923г.[171]. Он использовал трехэлектродную Г-образную установку с разносом измерительных линий СЮ и ВЗ 10м. Electroдами служили медные оцинкованные стержни, заземленные на глубине 1 м. При столь малых длинах линий исследователь не регистрировал вариаций ионосферного происхождения. Три возможных комбинации пар датчиков выводились на потенциометр; отсчеты брались визуально с интервалом в 1-3 часа, и только в течение дневного времени. На рис. 1.5.1 показаны вариации потенциала ЭТП для землетрясения Канто и другого сильного землетрясения.

Видно, что аномалии начались, по крайней мере, за несколько часов до землетрясений; в случаях относительно близких толчков значения разности потенциалов к старому уровню не вернулись. На кривых отчетливо заметен суточный ход, амплитуда которого колеблется от 10 до 20 мВ, в то время как величина аномального сигнала составляет от 30 до 75 мВ. К. Ширатори делает предположение, что структура, особенности вариаций зависят от направления измерительных линий на эпицентр.

В 1930г. относительно длительные наблюдения (июль 1930г-сентябрь 1931г) были выполнены Х.Ното на побережье Японии, п-во Ацуми [172]. Использовались две линии длиной 500м с медными электродами-пластинами, заземленными на глубине 2м, сигнал с которых выводился на самописец с дискретной регистрацией каждые 30 сек; чувствительность устройства составила 0,5 мВ/мм.

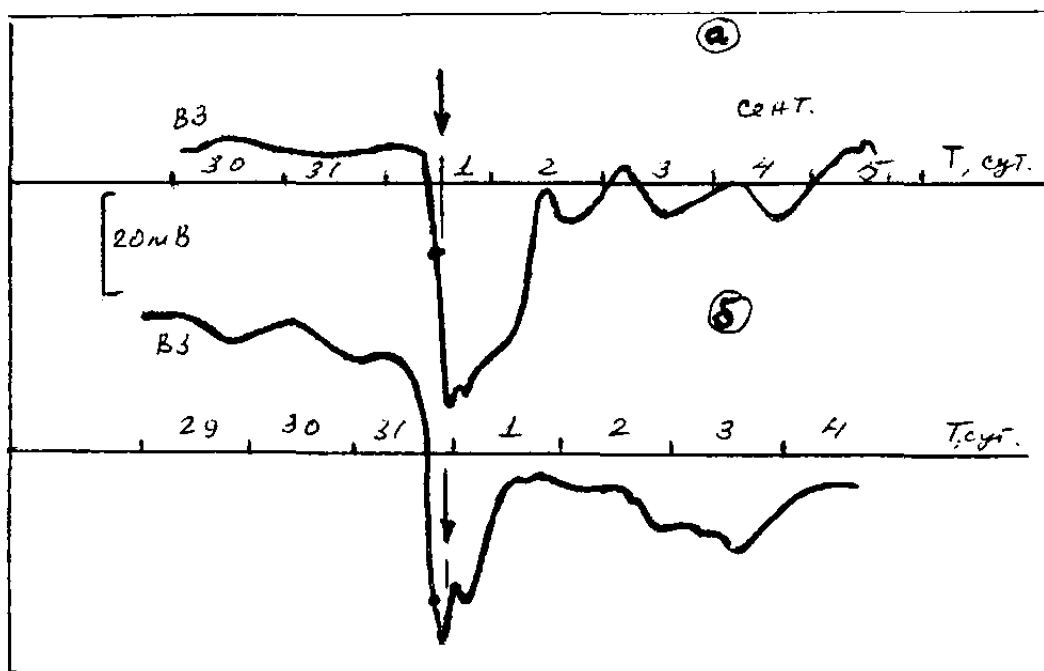


Рис. 1.5.1. Примеры первых зарегистрированных аномалий ЭТП, связанные с землетрясениями (171). Точками на кривых обозначены последние перед землетрясениями измерения.

а - землетрясение Канто, $M = 7.9$, $\Delta = 383$ км., 1.9. 1923.

б - оцутимое землетрясение с $\Delta = 60$ км, 31.10.1923.

Х.Ното проанализировал 50 случаев появления возмущений в земных токах и сопоставил их со всеми землетрясениями, которые произошли за исследуемый период в радиусе до 400 км от точки наблюдения. По морфологическим особенностям записей он классифицировал наблюденные аномалии и выделил три типа, для которых характерны:

1. постоянное увеличение сигнала и возвращение к начальному уровню,
2. постоянные увеличение сигнала и возвращение к начальному уровню после нескольких зигзагообразных флуктуаций,
3. незакономерное чередование максимумов и минимумов на фоне бухтообразного изменения.

Статистический анализ материала позволил ему прийти к выводу, что частота совпадений всех типов аномалий с землетрясениями значительно выше, чем для случайного регистрация. Он также нашел, что средняя длительность предвестника растет с эпицентральной расстоянием от 1" 50'" (для < 100 км) до 2" 50'" (для > 400 км), а величина аномалий в общем меньше для более далеких событий.

В течение 1965-1967гг. Т.Рикитакэ провел многомесячные непрерывные наблюдения в центре Мацусирского роя землетрясений. За все время исследований удалось зафиксировать единственное аномальное событие синхронное однотипное изменение сигнала длительностью около часа на линиях в ВЗ (72м) и СЮ (64м) амплитудой соответственно 30 мВ и 3 мВ точно в момент близкого землетрясения $M = 5,0$ 29 ноября 1965г. В то же время было отмечено более 20 толчков с $M > 4,7$, происшедших на эпицентральных расстояниях меньше 20 км, несопровождавшихся никакими заметными изменениями электрического поля [173].

Сравнительно недавно, 1976-1978гг., группа геофизиков провела наблюдения вариаций земных токов на одном из самых активных разломов Центральной Японии - разломе Атоцугава [174]. Измерительные линии длиной 100м (С Ю) и 70м (В З) развернуты непосредственно в разломной зоне, причем одна линия (С Ю) сечет нарушение, другая - параллельна ему, динамика активного разлома правосторонний сдвиг. Анализируются местные, близкие землетрясения. Была обнаружена аномалия электрического поля величиной 4 мВ для параллельной разлому линии и 2,5 мВ для перпендикулярной. Форма аномалии - быстрый спад с медленной релаксацией к фоновому значению, длительность около 10 часов. Обращает внимание несинхронное, с задержкой на линии С Ю появление аномалий на измерительных линиях. Спустя час после начала электрического возмущения произошло землетрясение

$M = 3.6$ (16 сентября 1978г.) на эпицентральных расстоянии 7 км. Авторы проанализировали электрические сигналы ионосферного и сезонного происхождения (в том числе реакцию на атмосферные осадки) и пришли к выводу, что обнаруженная электрическая аномалия вызвана готовящимся землетрясением. В качестве механизма рассматривается диффузия воды в процессе дилатансии и возникновение электрокинетических эффектов.

За последнее десятилетие интерес к изучению земных токов в прогнозном аспекте в Японии заметно понизился. Причиной являлось сложные геологические условия, высокий уровень промышленных помех в Японии.

Тем временем такие работы осуществлялись в довольно большом объеме в СССР, КНР и Греции. Сообщение о первых наблюдениях в Китае

относятся, по-видимому, к 1966г. когда появились сведения о регистрации небольших аномалий (около 2 мВ/км) перед землетрясениями $M > 3$ примерно за 5 часов до события. Одновременно подчеркивалось, что эти результаты нуждаются в подтверждении достаточно близким и сильным землетрясением. Таким событием стало Хейченское землетрясение 4 февраля 1975г. $M = 7.3$, успешно предсказанное по комплексу предвестников, в том числе по электрическим (К.Норитоми, входивший в Японскую делегацию по изучению истории прогноза этого землетрясения, оценил значение электрических предвестников как "эпохальное" и призвал к широкому развитию исследований в этой области).

На рис. 1.5.2. приведены некоторые графики изменения электрического сигнала для трех станций в зоне нового тектонического шва, на эпицентральной расстоянии около 20 км от Хайченского землетрясения. Разность потенциалов между электродами уменьшается от положительных значений 150-200 мВ, характерных, принципе для пары Рв-Си в почве до 10-50 мВ, и даже до почти нулевых отметок [175].

Надо отметить, что для Хайченского землетрясения целый ряд информативных станций располагался в зонах активных тектонических нарушений, таких как разломы Танлу, Джинчжоу и ряда второстепенных.

Первые систематические работы в СНГ по исследованию электротеллурических предвестников землетрясений начались в 1965г. в ИФЗ АН СССР под руководством Г.А.Соболева и В.Н.Морозова [176-180]. На восточном побережье Камчатки, вдоль Тихоокеанской фокальной зоны была развернута сеть станций электротеллурического поля. Перед некоторыми близкими землетрясениями Камчатки ($K < 10-12$; $\Delta < 50$ км) регистрировались короткопериодные ассиметричные колебания, длительностью до 15 суток и меньше. Величина аномалий составляла в среднем 5-50 мВ. Аномалии наблюдались одновременно на ряде станций, удаленных друг от друга на 100 и более километров; иногда изменение уровня поля связывалось с одной станцией, но на нескольких измерительных линиях. Отмечалось запаздывание аномалий на соседних станциях, аномалия как бы двигалась.

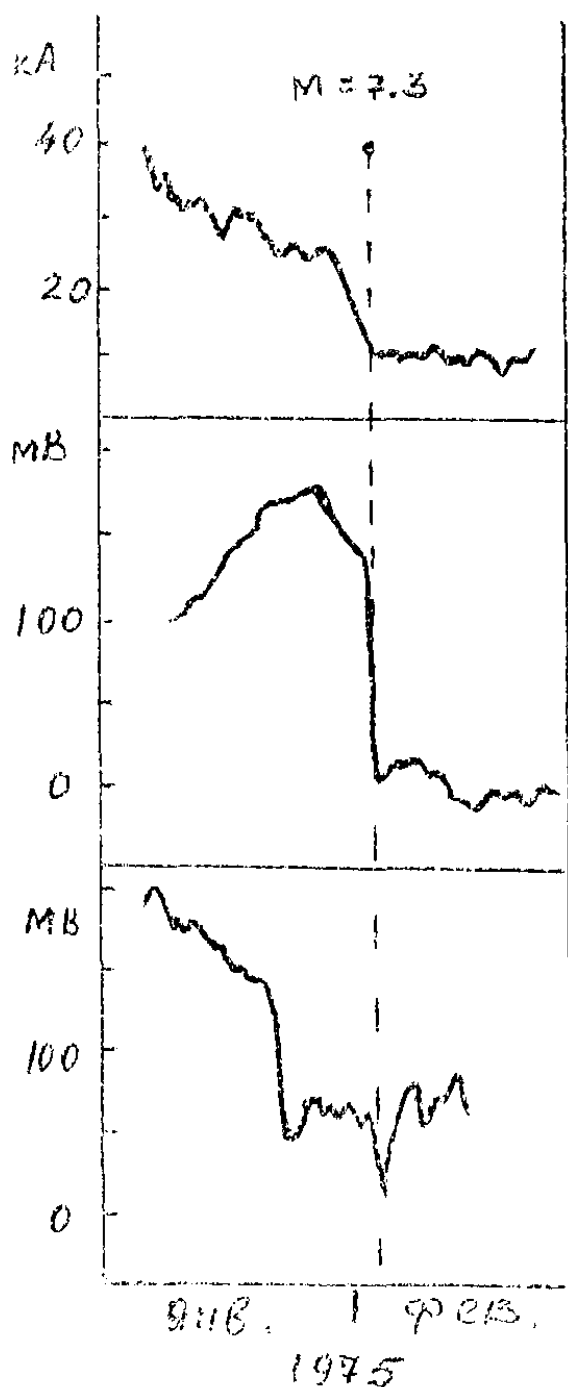


Рис. 1.5.2. Примеры вариаций земных токов перед Хайченским землетрясением для станций наблюдения, расположенных в зоне образовавшихся разрывов (175).

Авторы рассматривают очаг готовящегося землетрясения в качестве непосредственного источника возмущений, а локальность его проявления связывают с аномалиями проводимости, местными

Значительное оживление в данное исследование внесли начиная с 1981г. греческие ученые. Уже к 1982г. ими было запущено 18 станций по регистрации ЭТП и, с помощью телеметрии, организована быстрая обработка и передача данных в единый центр [181,182]. По-прежнему ими отмечалась сильная неоднородность, мозаичность наблюдаемых эффектов. Величина и длительность регистрируемых ими аномалий меняется в широких пределах. Наряду с бухтообразными и ассиметричными возмущениями (быстрые изменения с более медленным спадом), наблюдаются кратковременные (первые минуты) резкие смещения уровня записи с таким резким возвратом. Типичной амплитудой является значение 1 мВ, но есть случаи и 15 мВ, длительность от минуты до 90 минут, а время опережения события от 6 до 115 час, при наиболее частом значении

появления 7 час. Временные характеристики не зависят от магнитуды. Эпицентральные расстояния, где фиксируется аномалии, колеблются от десятков до 600 км для $M = 5$.

геоэлектрическими условиями. Электрический сигнал "эммитируется" из очаговой области, а механизм его генерации одинаков для всех сейсмогенных зон. Физической базой такого механизма является поляризация (деполяризация) твердого тела вследствие роста или спада напряжения в объеме очага.

В то же время, отличающаяся в измерениях несинхронность появления сигнала на разных линиях одной станции может служить указанием на возбуждение электрических аномалий вторичным механоэлектрическим источником вблизи пункта наблюдения, природа пока не ясна. Авторами дается эмпирическое соотношение $\lg (\Delta U_r) = (0.3 - 4) V + A_k$; где U - величина сигнала, R - эпицентрально расстояние, A_k - некоторый коэффициент для данной станции. Формальное сопоставление этого соотношения с выражением $\lg (\rho_{10^{-8}}) = 0,43 M - 0,06$, для теоретической оценки радиуса зоны деформационных предвестников позволяет сделать заключение о возможной прямой обусловленности наблюдаемых теллурических эффектов с развитием деформационных процессов в пункте регистрации аномалий [183,184].

Авторами [185] были организованы сеть из пяти станций режимных наблюдений за длиннопериодными вариациями электротеллурического поля. Расстояние между станциями, совмещенными с магнитными станциями, составляло 60-100 км. Ими исследована структура электротеллурического поля в широком диапазоне периодов от нескольких часов до года. В июле 1980 и декабре 1983 г. С эпицентрально расстояниями 110 и 115 км произошли землетрясения с $M = 5,2$ и $5,3$ соответственно. За 5-7 суток до основного толчка в электротеллурическом поле на станции "ГАИШ" зарегистрировали аномалии с амплитудой 05 до 17 мВ. Аномалии фиксировались на всех линиях с различной интенсивностью на фоне относительно спокойного поля.

Электротеллурические наблюдения в Узбекистане проводятся Хусамиддиновым С.С. на станциях "Паркент" с 1983 г, с/с "Фрунзе" (1983-1987гг.), Хаватаг (с 1986г), Хумсан (1986-1987гг.) расположенных соответственно в центре, Западе, Юге, Востоке Ташкентского полигона [110]. Временные полевые наблюдения по комплексной методике проведены в эпицентральной зоне в Газлийского землетрясения 1984г., в период интенсивной афтершоковой деятельности (ст. Цветущий).

Наиболее близкое сильное землетрясение произошло на Ташкентском геодинамическом полигоне за период наблюдений 26.08.87 с энергией $E = 10^{13}$ дж на удалении 80 км от Паркента в системе Чаткальских хребтов. В конце 1983г. - начале 1984 г. наблюдается аномальное отклонение, сопутствующее активизации сейсмичности. Вслед за стабильным

интервалом с 1985 г. вариации ЭТП носили неустойчивый характер по обоим каналам, после чего последовало Чаткальское землетрясение. Перед и после землетрясения наблюдались резкие отклонения поля длительностью 1,5 - 2 месяца.

На линиях с большой базой - 780 м (КМИО), 630м (с/с Фрунзе), которые ориентированы субширотно, наблюдали длиннопериодные бухтообразные повышения ЭТП длительностью около двух месяцев. На ее завершении произошла Газлийское землетрясение 19.03.84 г. На фоне бухты наблюдается ряд отклонений с периодами до нескольких недель во времени совпадающие с близкими событиями.

Ряд характерных эффектов ЭТП зарегистрирован Хусамеддиновым С.С. перед наиболее сильными афтершоками в эпицентральной зоне Газлийского землетрясения 13.03.84г. После установки электродов во всех линиях наблюдали снижение разности потенциалов. Несмотря на то, что снижение происходило синхронно со спадом афтершоковой активности, из-за установочных процессов электродов им трудно было увязать эти два явления. Отклонения от тренда предшествовали наиболее сильным ($K > 10$) близким повторным толчкам. Длительность отклонений не превышала первых суток.

Перед разрушительным Кайраккумским землетрясением произошедшее 13.10.85г. на юге восточной части Ферганской депрессии зарегистрировали бухтообразное понижение ЭТП на обоих компонентах, поля наблюдаемых станцией "Паркент", и с/с "Фрунзе". Амплитуда отклонения достигла 30-40 мВ. и превышала уровень 2σ . На завершении бухты за 20-25 суток до подземного толчка произошло резкое восстановление поля с положительным отклонением. Наряду с этим на ст. "КМИО", за двое суток до события наблюдали короткопериодные отклонения ЭТП по обоим компонентом. Автор отмечает, что обычно такие отклонение сопутствовали интенсивным магнитным возмущениям. Но в данном случае перед Кайраккумским землетрясения подобные источники отсутствовали [110]. По форме аномалия ЭТП оказались близка к короткопериодным эффектам ЭМИ. Такое отклонения ЭТП в последнее время широко обсуждаются греческими и болгарскими исследователями [186,187].

Таким образом, Хусамиддинов С.С. приведя выше изложенные сведения показывает, что сейсмическим событиям с $K > 10$, чаще предшествуют аномальные колебания ЭТП. Основным доказательством их обусловленности сеймотектоническими процессами автор считает: проявление в области подготовки землетрясения, отсутствие значимых альтернативных источников, корреляции по времени с подземными толчками и синхронность с другими сейсмочувствительными полями.

Изучением структуры электротеллурического поля (ЭТП) и выделением основных источников длиннопериодных вариаций ЭТП в условиях мощного осадочного чехла Ашхабадского сейсмоактивного района занимались Авагимов А.А., В.С.Жуков и др. [188,189].

Разность потенциалов на пунктах наблюдений ими измерялись в ортогональных направлениях С-Ю и В-З ежечасно в течение суток. Наиболее значительные вариации электротеллурического поля были зарегистрированы в 1978-79гг. По данным геодезических и наклономерных измерений в этот период наблюдался процесс тектонического сжатия региона в целом и зоны разлома. В это же время происходило повышение уровня сейсмической активности: зарегистрировано 7 землетрясений энергетического класса $K > 11$ на удалении, не превышающем зону эффективного проявления предвестников.

Процесс сжатия сопровождался развитием трещиноватости в породах вблизи разломов, что обуславливало снижение уровня воды. Проникновение жидкости в трещины пород, окружающих зону разлома, и вызвало увеличение компоненты ЭТП.

Было выделено электрофильтрационное поле в зоне тектонических нарушений: величина его для стационарного потока жидкости в зоне разлома составляла 5-15 мВ/км, в периоды сейсмической активности 50-70 мВ/км. Авторы полагали, что выделение квазистационарное электрическое поле и его временные параметры обусловлены медленно протекающими процессами фильтрации глубинных вод и отображают режим деформирования зоны разлома и региона в целом.

Анализ аномальных изменений по электротеллурическим потенциалам, связанных с конкретными землетрясениями, сделанных А.А.Авагимовым [190] позволили выделить ряд особенностей.

1. Амплитуда аномальных изменений порядка 10 - 15 мВ;
2. Длительность аномальных изменений значительно меньше в сравнении с аномалиями проводимости.
3. Аномалии имеют различный знак: для ближней зоны - уменьшение исходного уровня, для дальней - увеличение, при этом изменение отмечается только на составляющей, совпадающей с направлением преимущественной ориентации трещиноватости горных пород.

Некоторые аномальные изменения ЭТП и Т в связи с сейсмическими событиями на территории Армении приводятся в работе [191] Огнесяном Г.М. и Х.В.Кирокасяном. На пунктах "Гюлагарак" организованы наблюдения электротеллурического поля (ЭТП). Регистрация ЭТП производилась ежечасно. За 12 дней до землетрясений 18 и 19 сентября 1983г. с $K=8,5$ и $K=9$ в пункте наблюдений ($R=36$ км) наблюдались

аномальные изменения ЭТП и Т. Отклонения разностей потенциалов ЭТП на разных каналах от фоновых составляли 2-8 мВ.

Суммируя наблюдения, отметим следующие. Перед землетрясениями неоднократно отмечались аномалии электротеллурического поля. Длительность и величина их колеблется в широком диапазоне от первых минут до первых десятков суток и от десятых долей мВ до десятков мВ. Это может указывать на различные механизмы генерации электротеллурических предвестников и условия их регистрации. Природа ЭТП - предвестников окончательно не выяснена. Все это свидетельствует о сложности процессов формирования возмущений в ЭТП и недостаточной изученности их природы. Однако несомненным является то, что распределение в пространстве аномалий ЭТП обусловлено деформационными процессами, неоднородностью свойств литосферы. В различных регионах характер проявления аномалий ЭТП отличается, что связано, по-видимому, с геологогеофизическими особенностями. В связи с этим накопленные данные по аномалиям ЭТП представляет интерес для каждого региона. Что касается природы аномалий, то большинство исследователей считает, что они связаны с электрокинетическими явлениями.

1.6. Нарушения поведенческих реакций живых объектов перед землетрясениями

Длительная эволюция животных на земле сопровождалась многочисленными земными катастрофами и, чтобы выжить, они приспосабливались к ним, стремились выработать определенную реакцию, помогающую своевременно почувствовать надвигающуюся опасность. Страх человека перед разгулом подземной стихии, ее внезапность отразились в многочисленных легендах и сказаниях. И во всех них с незапамятных времен указывается на то, что это бедствие предчувствуют животные. В течение столетий передававшиеся сведения о поведении животных, постепенно обрастали вымышленными деталями, неправдоподобными и даже мистическими домыслами, поверить которые в наше время было трудно. Между тем, известно немало примеров странного поведения животных перед землетрясением, начиная с древнейших веков и до наших дней.

Наибольшее количество сведений собрано в СНГ, Японии, Китае, США. Большинство сведений собрано со слов очевидцев и мало пригодно для детального научного анализа. В силу большого количества субъективных причин, влияющих на поведение животных и недостаточного соотношения сигнал/шум, перспективы использования биологических предвестников в системе прогноза представляются

весьма ограниченными. С развитием бионики представляется возможность получения более объективной информации о состоянии биологических объектов. А сегодня эти сведения могут представить полезную информации для понимания пространственно временного распределения аномальных физических полей. В[192] приведены наиболее достоверные сведения об аномальных поведении животных накануне сильных землетрясений. Наиболее сейсмочувствительны собаки. Затем идут соответственно лошади, коровы, мыши. Естественно, сведения о поведении диких животных ограничены. По различным данным, времена проявления сейсмобиологических эффектов составляют от первых десятков суток до первых суток, часов, минут, то есть также как и сейсмоэлектромагнитные эффекты.

На первой национальной конференции в США [193] в качестве возможных источников воздействия на животных назывались электромагнитные поля, ультра и инфразвук, диффузия газов, электростатическое зарядение аэрозольных частиц, колебания уровня грунтовых вод и деформационные явления.

В работе [194] на основе последовательного анализа известных сведений и современных достижений бионики указано, что наиболее вероятными источниками воздействия на биологические объекты является переменные и электромагнитные поля в диапазоне 2-10 Гц, которые близки к биоритмам мозга. Ранее электромагнитную природу действия полей на биологические объекты рассматривал Т.Рикитак [111].

В результате моделирования воздействия различных физических полей на биологические объекты в начале 70-х годов в Институте сейсмологии АН УзССР [195] отмечается, что наиболее вероятным источником действия являются электромагнитные поля.

В первые попытка использовать биологические индикаторы для оперативного прогноза землетрясений была сделана в Японии. Изучив особенности поведения зубаток, Хатай и др.[196] на основе аномальной реакции рыб вывешивали на доске сейсмопрогнозные сведения.

При этом отмечается, что из двух аквариумов информативность проявляли рыбы в аквариуме, гальванически связанном с землей.

В последние годы проводятся целенаправленные исследования по поиску биологических предвестников. В частности И.Л.Нерсесовым и др. [197] на Гармском полигоне велись режимные наблюдения, по специально разработанной методике, за электрически активными рыбами и получены положительные результаты. В то же время объекты проявляют различную информативность, что указывает на ограниченные перспективы биологических индикаторов.

Известны сведения о предупреждающей реакции человеческих организмов на землетрясения. Т.Рикитак [111] проводит ряд таких

сообщений. Сам автор склонен относить их к астрологии. Более научно-обоснованным представляется подход, принятый в ИС АН УзССР [198]. Обследовав число вызовов на пунктах скорой помощи г. Ташкента за 1980 год, далее разделив их на категории болезней и возрастов, авторы установили, что в районе, расположенном в зоне будущего эпицентра Назарбекского землетрясения 11.12.80г. число вызовов скорой помощи аномально возросло по сравнению с отдаленными пунктами. Максимум роста детских вызовов, начавшийся за 10 суток до события, приходится на 7.12.80г. Наибольшую чувствительность проявляют больные психозом. В то же время вызовы к больным нервной системы несколько уменьшились.

В работе [199] обобщается проявление биологических предвестников у тех или иных животных на основании множества примеров:

Собаки сильно воют, покидают крытые помещения, переносят щенят, жмутся к хозяевам или стараются их вытянуть на улицу. Коровы громко мычат, покидают загон, катаются по земле, отказываются от корма, могут преждевременно отелиться. Во многом схожее поведение у коз, овец и лошадей. Лошади кроме того бьют копытом о землю, дрожат, странно храпят, останавливаются в пути, стремятся убежать. Кошки прячутся, уходят из дома, переносят потомство, шерсть у них поднимается дыбом. Кролики кроты, суслики, змеи покидают норы. На поверхности земли в массе появляются черви. Домашние птицы тревожно кричать, отказываются возвращаться в курятник или, напротив, бегут в него, раскинув крылья. У крыс и мышей притупляется чувство опасности. Рыбы всплывает на поверхность, выстраиваются в косяки и даже выбрасываются на сушу. Проявляют беспокойство и другие животные.

Наблюдая за ними, надо помнить, что в каждом конкретном случае возможно проявление только одного из перечисленных признаков. Причем реагируют на невидимые изменения в земной коре не все особи. Особенно чувствительны, по мнению специалистов, собаки - около 36% из них проявляют чувство беспокойства, тревоги. Затем по нисходящей из домашних следуют кошки, птицы, крысы, мыши и, наконец аквариумные рыбки.

На основе приведенных сведений можно отметить:

1. Аномальные поведения животных проявляются за десятки и менее суток до подземного толчка;
2. Их распределение в пространстве неоднородно;
3. Биоиндикаторы проявляются в плейстосейстовой области и реже вне ее.
4. Электромагнитные поля действия на биологические объекты рассматриваются как один из важнейших факторов, но в последнее время обсуждается действие инфразвуки и различных химических соединений.

1.7. Процессы подготовки землетрясений и модели источников электромагнитных предвестников землетрясений

Теоретическими основами представлений о формировании электромагнитных предвестников являются процессы изменения напряженно -деформированного состояния земной коры перед землетрясениями. В настоящее время наиболее детальное обоснование получили три модели подготовки землетрясений. 1. Модель лавинно - неустойчивого трещинообразования (ЛНТ) изложена в работах В.И.Мячкина и др. [200- 202]. Согласно этой модели на разных стадиях подготовки землетрясений происходит изменения количества, размеров и ориентации трещин. На 1-й стадии под действием сдвиговых тектонических напряжений, имеющих определенную ориентировку, проходит равномерное растрескивание горных пород. Авторы модели не считают эту стадию предвестниковой. II-я лавинная стадия подготовки землетрясения. В процесс лавинного трещинообразования вовлекается все большая часть объема и скорость деформации резко возрастает, что ведет к изменению физических характеристик среды. На III-й стадии в результате объединения трещин образуется небольшое число крупных разрывов, которые затем сливаются в основной разрыв, приводящий к землетрясению.

Этой стадии может соответствовать наблюдаемая в большинстве случаев аномалия электромагнитных показателей.

Вторая модель дилатантно-диффузионная (ДД) разработана Н Sholz e.a (1973), D.Anderson (1973).[203,204] Эта моделью предусматривается, что породы насыщены водой и в процессе развития деформации происходит диффузия воды в области подготовки очага землетрясения. На I-ой стадии, в отличие от модели ЛНТ, происходит накопление упругих напряжений, скорость деформации не меняется. Когда напряжения достигают определенного уровня, наступает II-я стадия дилатансии, характеризующиеся появлением и раскрытием трещин. Растрескивание пород на стадии дилатансии обуславливает увеличение объема пустот. Давление воды в трещинах падает и часть трещин осушается, что ведет к упрочнению пород. За счет диффузии воды в образовавшийся пористый объем, прочность пород снова падает. Начавшееся разрушение пород соответствует наступлению III-й стадии подготовки землетрясения. В момент, когда понижающаяся прочность пород уравнивается с нарастающим тектоническим напряжением, происходит землетрясение. Здесь природа электромагнитных эффектов может быть связана с электрокинетическими явлениями при диффузии поровой жидкости.

Модель консолидации. Модель предложена И.Добровольским в работе [205] и получила некоторое количественное описание [206].

Ее существо, кратко, состоит в следующем: цикл одиночного землетрясения имеет три фазы, следующие друг за другом в периодической последовательности.

I фаза регулярного состояния сменяется фазой (II) консолидации, на которой два или несколько блоков входят постепенно в относительно прочное зацепление, образуя консолидированную область или неоднородность, чьи осредненные свойства отличаются, очевидно, от аналогичных ее свойств до консолидации. Далее на фазе разрушения (III) консолидированной области путем быстрых пластических подвижек, форшоков, магистрального разрыва (или роя) и афтершоков которые приводят среду вновь в фазу регулярного состояния. Часть фазы разрушения, от ее начала до магистрального разрыва (или начала роя землетрясений) названа β - стадией, а оставшаяся часть фазы - стадией. На стадии возникает пластические подвижки, форшоки, краткосрочные предвестники, - стадия характеризуется афтершоковой деятельностью.

Рассмотрим указанное фазы подробнее [206].

Фаза регулярного состояния. Главная черта - непрерывное деформирование регулярного или глобального масштаба. Непрерывное деформирование, кратковременные зацепления и их разрушение проявляются в фоновой сейсмичности и многочисленных несинхронных вариациях различных геофизических полей.

Фаза консолидации. В некоторый момент времени между двумя блоками возникает локальное зацепление. "Зацепление" с позиции механики сплошной среды трактуется как локальное повышение жесткости или вязкости. Если зацепление окажется достаточно прочным, то оно будет существовать дальше, чем обычные "фоновые" зацепления, в его окрестности скорости деформаций убывают и создаются условия для расширения зоны зацеплений. Соединение этих блоков упрочняется.

Появление и развитие консолидированной области возмущает картину перемещений, что в свою очередь, нарушает сложившуюся регулярность фоновых вариаций геофизических полей. В среде происходит перераспределение механических напряжений и скоростей деформаций из-за непрерывно идущих вдали от консолидированной области перемещений, в то время как в окрестности области консолидации растет упругая потенциальная энергия.

Фаза разрушения. Рост консолидированной области на некотором этапе прекращается. Он может быть ограничен соседними крупными консолидированными блоками или прекратиться вследствие неблагоприятного перераспределения поле скоростей деформаций.

Консолидированная область является тем особым объемом в земной коре, разрушение которого магистральным разрывом и вызывает землетрясение. Распад консолидированной области осуществляется путем пластических подвижек, форшоков, магистрального разрыва и афтершоков. Магистральный разрыв высвобождает основную долю сейсмической энергии и, по-видимому, пронизывает большую часть консолидированной области. Если очагом землетрясений назвать поверхность магистрального разрыва, то приходим к выводу, что размеры неоднократностей перед разрушением должны быть близки к размерам очага. Это важный вывод, поскольку он намечает связь между характерным размером неоднородности, с одной стороны разрыва и размером очага землетрясения, с другой.

По окончании фазы разрушения среда в основных чертах возвращается к состоянию, предшествовавшему началу фазы консолидации. Цикл одиночного землетрясения замыкается.

Механоэлектрические преобразования, с которыми связывали все источники электромагнитных предвестников, необходимо было рассматривать, на заключительной стадии подготовки землетрясений. Именно на этой стадии возможна активизация множественного трещинообразования и деформационных криповых процессов. С этими процессами связывали появление активных источников электромагнитного излучения, которые можно было наблюдать в различных оболочках Земли. С другой стороны возмущения в ионосфере показывали, что первичные источники должны были иметь значительные размеры, а возмущения параметров ионосферы могли изменены условия прохождения радиоволн в волноводе Земля-ионосфера. Представленные наблюдения возмущений ЕИЭМП не могли однозначно ответить на вопрос, является ли возмущение результатом действия активных источников излучения или следствием появления литосферно-ионосферных связей, изменяющих условия прохождения радиоволн в волноводе Земля-ионосфера. В связи с этим рассматривались три области источников возмущений ЕИЭМП.

1. Очаговая область, расположенное на глубинах несколько километров и более [А.А.Воробьев - 20,21].

2. Поверхностный слой земной коры, испытывающий быстрые деформации непосредственно перед сейсмическими событиями [М.Б. Гохберг, И.Л.Гуфеев; В.А.Моргунов - 207,208].

3. Область повышенной ионизации в верхней атмосфере и ионосфере возбуждаемая при сейсмоионосферной взаимодействии [209,210].

В рамках третьей модели возмущения ЕИЭМП могут быть связаны также с изменениями условий прохождения радиоволн [Г.А.Соболев72].

Рассмотрим подробнее каждую из указанных моделей.

1. Электромагнитное излучение из области очага. Большинство горных пород, расположенных в коровом слое, имеют сопротивление 10 - 10¹⁰ ом м, которое уменьшается до 1-10 ом м в верхнем осадочном чехле. Расчеты показывают [193], что произойдет практически полное затухание электромагнитного излучения в диапазоне частот выше нескольких килогерц от источников, расположенных на глубинах, больших 1-3 км. В ряде районов на поверхность выходят кристаллические породы с сопротивлением 10¹⁰ ом м. Авторы работы [56,211] полагают, что через подобные массивы возможен выход излучения от глубинных источников в волновод Земля-ионосфера. В этих районах следует ожидать максимальной интенсивности излучения. В то же время отличается, что реально можно ожидать выхода электромагнитных полей от глубинных коровых источников лишь в диапазоне СНЧ-волн / < 1 кГц /. Однако регулярных измерений в этих диапазоне не проводились.

Оценки показывают малую перспективность исследований электромагнитного излучения коровых и глубокофокусных источников в широком диапазоне частот, что подтверждается наблюдениями: в акте землетрясения "всплеска" в поле ЕИЭМП не наблюдалось.

2. Поверхностные источники. Характерные размеры области подготовки землетрясений достигают сотен и более километров [35]. Поверхностный слой этой области испытывает неоднородную деформацию, которая может привести к электризации за счет разрывов связей адгезионной природы и электрокинетических явлений. Поэтому предполагается, что возмущения ЕИЭМП могут быть связаны с многочисленными локальными источниками, расположенными в поверхностном слое на глубинах в пределах скин-слоя. При этом проявляются условия регистрации излучения источников, расположенных в непосредственной близости от приемных антенн. Интенсивность излучения будет зависеть от характеристик среды, механизмов преобразования механической энергии в электромагнитную, величины и скорости деформации. Наиболее интенсивное возбуждение поверхностных источников следует ожидать в эпицентральных зонах, в зонах границ и разломов, которые контролируют процессы деформации блочной среды. Здесь также можно было бы наблюдать "всплеск" поля в акте землетрясения и при прохождении в зоне антенны сейсмических волн. Однако реально это также не наблюдалось.

В более поздних работах [153] было показано что поверхностные источники (трещины) могут возбуждаться при деформациях порядка 10⁻⁴ (сильные грунты) и 10⁻⁶ - 10⁻⁸ (песчаные грунты), а выделить источники литосферного происхождения на фоне импульсов естественного электромагнитного поля весьма сложно.

3. Модель вторичных источников в атмосфере и ионосфере. В этой модели первичным источником возмущений представлялся крупномасштабный пульсирующий ток дислокационной природы, вызванный процессами лавинного трещинообразования в области очага или на границах блоков и разломов. Пульсирующий источник тока обладает свойствами излучения и вызывает за счет появления на его границах нескомпенсированных зарядов перераспределение зарядов в окружающей проводящей среде. С перераспределением зарядов в горной среде связывали возмущения электротеллурического поля, а с индуцированным на поверхности зарядом-возмущения атмосферного электрического потенциала.

Из-за высокой проводимости земной коры частотный диапазон возмущений этих полей не превышает десятков-сотен герц.

В этой модели обсуждались два возможных пути возбуждения ионосферы такими источниками [209].

В первом случае рассматривалось затухание с высотой атмосферы нестационарных электрических полей. Оказывается, что в диапазоне 0,2-10 Гц электрические поля крупномасштабных поверхностных источников убывают с высотой по степенному закону. В то же время пробной электрические поля уменьшаются с высотой атмосферы экспоненциально из-за увеличения длины пробега заряженных частиц. Это делает вероятным дополнительную ионизацию остаточного газа на высотах 30-80 км при полях на поверхности Земли порядка 10^{-10} В/м. Следовательно, область дополнительной ионизации в атмосфере (нижней ионосфере) может быть источником вторичного широкополосного радиоизлучения и световых эффектов.

Вторая возможность воздействия на ионосферу пульсирующим на поверхности Земли протяженным токовым источником связывались с резонансным возбуждением локального колебательного контура в конденсаторе Земля-ионосфера. Резонансное возбуждение такого конденсатора на частотах порядка сотен герц приведет к "всплеску" в ионосфере переменного электронного тока, который вызовет дополнительный нагрев и ионизацию, что так же приводит к возбуждению радиочастотного излучения и световых явлений.

Рассмотренные модели указывают на две основные области возбуждения источников электромагнитного излучения: поверхность зоны подготовки землетрясений и область в верхней атмосфере (нижней ионосфере). Можно ожидать, что характеристики естественных ходов ЕИЭМП, ЭТП и АЭП будут зависеть от особенностей и местоположения первичных источников МЭП в поверхностном слое коры. Свечение поверхности Земли также связывается с этими процессами.

Изменение параметров верхней атмосферы (нижней ионосферы) окажут влияние на изменение условий распространения ЕИЭМП, его уровень и возмущения АЭП. С процессами в верхней связываются световые эффекты.

В последние годы начали рассматривать другие подходы к объяснению электромагнитных эффектов в различных оболочках Земли перед землетрясениями [212,213]. Эти эффекты связывают с возбуждением инфразвука в период распада очагов сильных землетрясений. Инфразвук изменяет динамические параметры литосферы и оказывает влияние на ионосферы. При этом изменение параметров ионосферы дополнительно связывают с действием электрических полей приземной атмосферы за счет активизации выхода из литосферы различных газов (углеводы, радиогенные газы и др.). С учетом этого также могут быть объяснены нарушения ЕИЭМП в волноводе Земля-ионосфера, возмущения АЭП в атмосфере и ЭТП в литосфере, а также различные аномальные эффекты в ионосфере и биопредвестники.

Выводы к главе I

1. Накопленные результаты наблюдений электромагнитных параметров в литосфере, атмосфере и ионосфере в сейсмоактивных районах и развитие теоретических работ указывают на возможность появления источников возмущений электромагнитных полей перед сейсмическими событиями.

2. Данные полевых исследований еще не позволяют делать выводы о природе источников возмущений ЕИЭМП, ЭТП, АЭП и др.

3. Наблюдательные данные свидетельствуют об отличном характере проявления электромагнитных эффектов в различных регионах и выбор направлений исследований обусловлен характеристиками каждого региона.

Глава II. ГЕОЛОГОГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ (РЕСПУБЛИКА КЫРГЫЗСТАН)

2.1. Краткий физико-географический очерк

Район исследования охватывает Иссык-Кульскую и Чуйскую впадины Северного Тянь-Шаня и их горное обрамление (рис.2.1.).

Иссык-Кульская впадина находится между хребтами Кунгей Ала-Тоо (Северное обрамление) и Терской Ала-Тоо (Южное обрамление). Общая длина ее 240 км, наблюдательная длина 90 км. Дно впадины занято озером одномерного названия. Абсолютная отметка водной поверхности 1609 м.

Чуйская впадина является наиболее крупной межгорной впадиной Северного Кыргызстана. Она расположена между Кыргызским хребтом и Чу-Илийскими горами. Общая протяженность впадины составляет 250 км, наибольшая ширина в пределах Кыргызстана - 50 км. Абсолютные отметки поверхности закономерно возрастают от 500-600 м на западе и северо-западе до 1000-1200 м на востоке.

В морфологии исследуемых межгорных впадин имеется ряд черт и особенностей. По мере удаления от горного обрамления впадин в их пределах может быть выделен ряд орографических зон, последовательно сменяющих друг друга и определяющих различие в процессе формирования стока рек, который по-разному проявляется в горной и равнинной частях территории. При этом горная часть является зоной формирования стока, а на предгорной - отмечаются его значительные потери на фильтрацию. Резко преобладающими формами рельефа являются аллювиально-пролювальные равнины: крутонаклонная, образованная слившимися конусами выноса рек, стекающих с хребтов, и слабонаклонная, пересеченная густой сетью родниковых рек.

2.2. Геотектонические особенности.

Геологическим и геофизическим исследованиям района посвящено большое количество публикаций, имеются обзоры. Рассматриваемая территория зажата между крупными блоками (плитами) консолидированной в разное геологическое время земной коры: на севере и западе - Центрально-Казахстанский щит и Туранская плита Урало-

Сибирской платформы, на юго-востоке - Таримская плита, на юге - Индийская платформа (рис.2.2.).

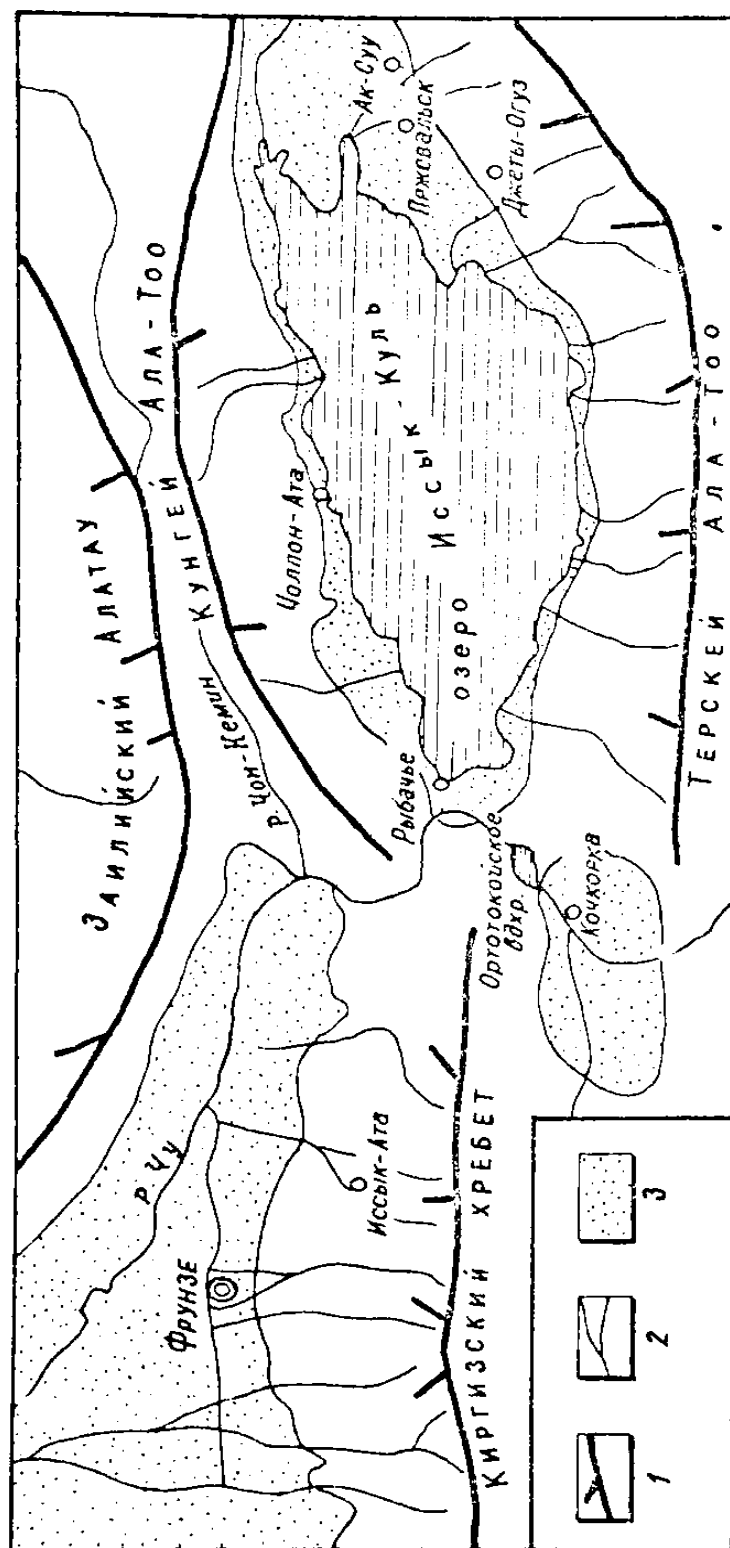


Рис. 2.1.1. Орогидрографическая схема района исследований

1. - водораздельные части основных хребтов;

2. - реки;

3 - межгорные впадины

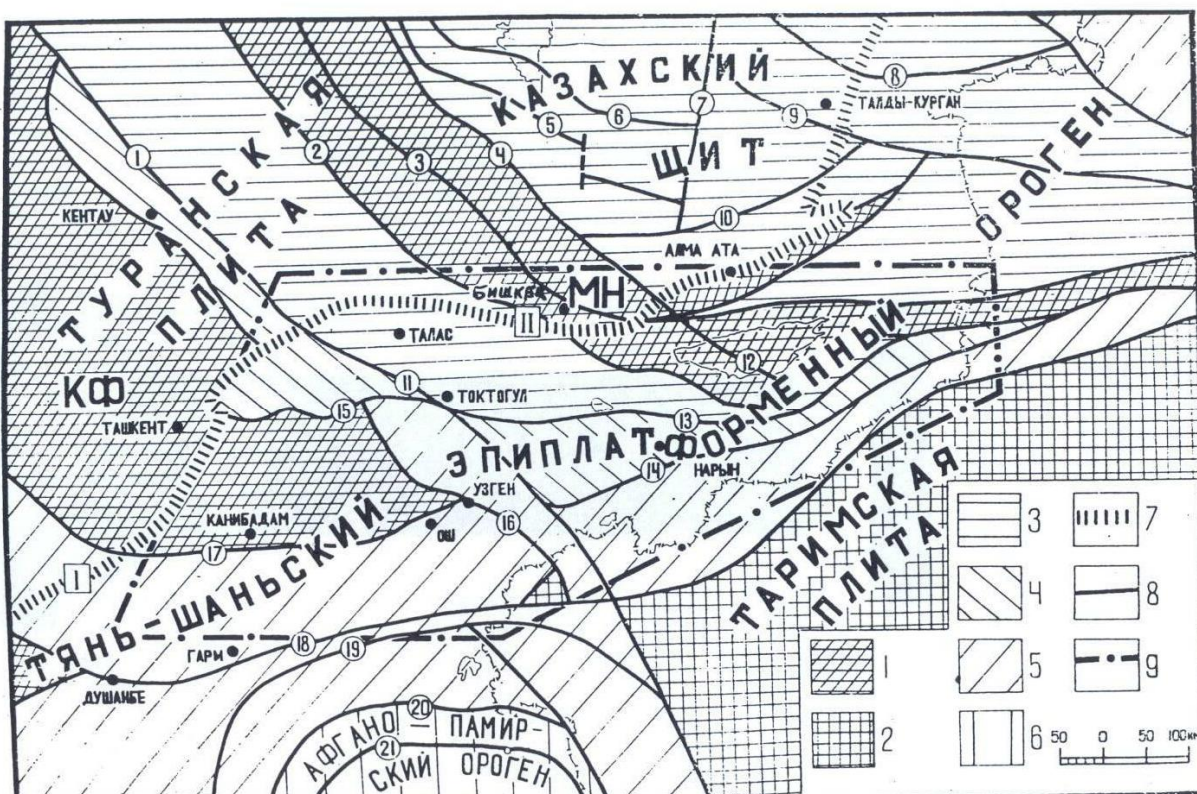


Рис. 2.2. Положение района исследований на схеме тектонического районирования Тянь-Шаня и сопредельных территорий (по Ф. Н. Юдахину).

1- срединные массивы: МН - Муюнкумо - Наратский в пределах области байкальско-каледонской складчатости: КФ - Курамино-Ферганский (Сырдаринско-Ферганский) в пределах области герцинско-каледонской складчатости; 2 - области древних платформ; 3 - области байкальско-каледонской складчатости; 4 - области герцинской складчатости; 5 - области герцинской складчатости; 6 - области мезозойской складчатости; 7 - линия глубинного разлома, разделяющего Урало-Сибирскую эпигерцинскую платформу и Тянь-Шанской эпиплатформенный ороген, цифры в квадрате: 1 - Западно-Тянь-Шанский, 11 - Северно-Тянь-Шанский, 8 - важнейшие разломы; цифры в кружках: 1 - Главно-Каратаусский, 2- каракойинский, 3-Чуйский, 4-Джалаир-Найманский, 5-Сарытумский, 6-Таукумский, 7-Центрально-Казахстанский, 8-Северо-Джунгарский, 9-Южно-Джунгарский, 10-Алтын-Эмельский, 11-Таласо-Ферганский, 12-Тран-Иссык-Кульский, 13-линия Николаева, 14-Атбаши-Иныльчекский, 15-Фергано-Атойнокский, 16-Тарский, 17-Южно-Ферганский, 18-Гиссаро-Кокшаалский, 19-Дарваз-Каракульский, 20-Акбайтальский, 21-Бартаг-Пшартский, 9-район исследований.

В связи с этим геодинамические процессы исследуемой зоны рассматриваются в тесной связи с динамикой этих платформ. Исследуемая территория включает горные системы Тянь-Шаня с крупными Чуйской, Иссык-Кульской, Нарынской, Илимской межгорными впадинами, ограниченными рядом хребтов. Горные хребты Тянь-Шаня в основном, включают сильно дислоцированные палеозойские породы [214]. С точки зрения автора [214] и большинства исследователей [215, 216 и др.] Тянь-Шаньские горы являются типичным эпиплатформенным орогеном.

Условия "зажатости" зоны растяжения между двух жестких литосферных глыб - Казахского щита на севере и Таримской плиты на юге - обусловили надвигание горных хребтов на впадины, располагающиеся по обе стороны относительно центральной рифтовой впадины. Впадины имеют ярко выраженное ассиметричное строение, причем характер ассиметрии меняется на противоположный по обе стороны от оси рифта.

Как следует из обобщенной характеристики наиболее важных черт тектоники, верхняя часть разреза земной коры Тянь-Шаня характеризуется сложностью и неоднородностью строения. Она сложена разнообразными по составу и строению разновозрастными складчатыми комплексами, перекрывающими догеосинклинальное основание, а в массивах - покровно-чехольными образованиями, покоящимися на глубоко метаморфизованном архейско-нижнепротерозойском фундаменте. На рис.2.3. изображен разрез литосферы по меридиональному профилю, пересекающему с севера на юг Казахский щит, Тянь-Шанский эпиплатформенный ороген (к востоку от Таласо-Ферганского разлома) и Таримскую плиту. Положение границы М и график теплового потока заимствованы из работ [217 и 218], гипоцентры землетрясений приведены по данным [219].

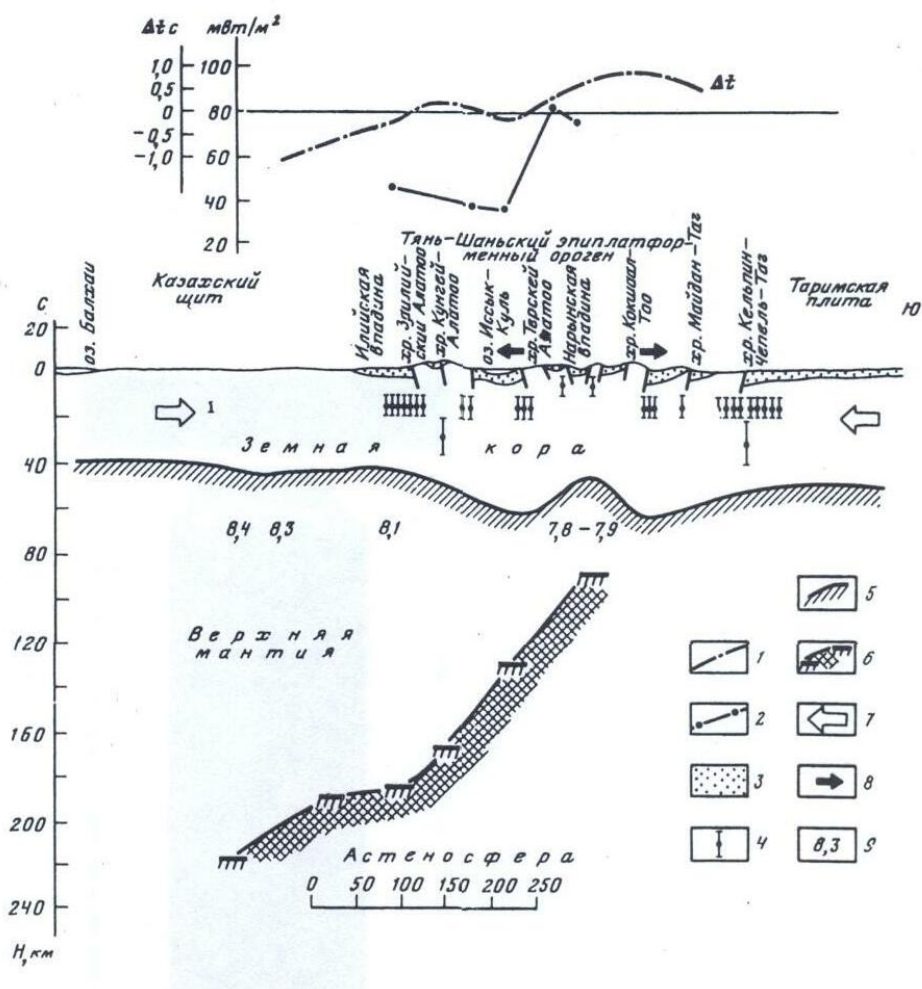


Рис. 2.3. Разрез литосферы по профилю Балхаш-Иссык-Куль-Яркент по комплексу геофизических данных (по Ф.Н. Юдахину)

1-график невязок времени прохождения продольных волн в верхней мантии; 2-кривая изменения теплового потока; 3-мезозойско-кайнозойские осадки; 4-гипоцентры землетрясений с $M \geq 5$, вертикальные штрихи указывают пределы ошибок в определении глубин очага; 7-направление тангенциальных сжимающих усилий, обусловленных столкновением Индийской и Евразийской литосферных плит; 8-направление растягивающих усилий в области вторичного рифтогенеза в тыльной части коллизионной зоны.

Из рисунка следует, что земная кора в пределах активной области - Тянь-Шанского эпиплатформенного орогена - увеличивается в мощности до 60 км по сравнению со стабильными регионами - Казахским щитом (40-45 км) и Таримской плитой (50 км). В центральной части орогена наблюдается утонение земной коры до 40-45 км. Этому утонению соответствует резкий подъем астеносферного слоя. Здесь он приближается к дневной поверхности до 90 км по сравнению с глубинами 190-200 км в

пределах Казахского щита. К этому же району приурочены максимальные положительные невязки ($\sigma_t = 0,7-0,9$ С) времени прохождения продольных волн в верхней мантии, чему соответствуют значения их скоростей 7,8 - 7,8 км/с. Следует отметить, что в направлении Казахского щита скорости продольных волн увеличиваются до значений 8,3 - 8,4 км / с (положительные невязки $\sigma_t = 0,9 - 1,1$ С). Рассматриваемому участку утончения земной коры, уменьшения скорости прохождения продольных волн в верхней мантии и подъема кровли астеносферы соответствует минимум силы тяжести. В обе стороны от минимума в направлении Казахского щита к северу и Таримской плиты к югу поле силы тяжести возрастает. Несомненно, что указанный минимум связан с разуплотнением верхней мантии, хотя в создании отрицательного гравитационного эффекта здесь принимает участие и ослабленная зона земной коры. По данным работы [217], области поднятия кровли астеносферы соответствует увеличение в 2 раза плотности теплового потока по сравнению с районами Казахского щита (см. рис.2.3.).

Таким образом, в Северо-Восточном Тянь-Шане отмечается набор геофизических признаков, которые обычно характерны для континентальных рифтовых зон, например Байкальской. К этим признакам относятся - уменьшение мощности земной коры, гравитационный минимум, слабые и расплывчатые изостатические аномалии подъем кровли астеносферы, низкие скорости прохождения продольных волн в верхней мантии, высокий тепловой поток и растягивающие напряжения [217].

К этому следует добавить, что Нарынская и Верхне - Нарынская впадины, находящиеся в осевой части рифтовой зоны, относятся к областям новейшего прогибания, вовлеченным в поднятие с плиоценплейстоцена [214].

Тем не менее по геодезическим данным указанные впадины испытывают опускание со скоростью до 1,2 - 3,4 мм/год в то время как области устойчивых новейших прогибаний - Ферганская, Чуйская, Иссык - Кульская - опускаются примерно с той же и даже меньшей скоростью. Это означает, что на фоне общего воздымания земной коры проседает осевая часть рифтовой зоны [220].

Резимируя вышеизложенное можно отметить, что современные тектонические движения Тянь-Шаня обусловлены горизонтальным субмеридиональным сжатием, вызванным поддвигом Индийской плиты под Евро - Азиатскую.

В восточной части Тянь-Шаня на фоне горизонтального сжатия отмечаются участки растяжения, обусловленные восходящими мантийными потоками, вызывавшими поднятие кровли астеносферы и развитие континентального рифтогенеза. Эта часть Тянь-Шаня может рассматриваться как область вторичного рифтогенеза, возникшая в тыльной части коллизионной зоны, образовавшейся в результате столкновения Индийской и Евразийской плит. Это столкновение вызвало сжатие литосферы и ее механическое расслоение [220].

§ 2.3. Геологические строения и геодинамические особенности района исследований.

Для понимания геоэлектрических условий и интерпретации данных о современной тектонической активности рассматриваемой территории, крайне необходимы сведения о структуре фундамента, характере новейших тектонических достижений, литологии и стратиграфии отложений, заполняющих впадины.

Согласно схеме тектонического районирования Северной Кыргызстана, исследуемая территория относится к каледонской складчатой области Северного Тянь-Шаня. Для этого района характерно субширотное простирание основных структурных и орографических элементов. Другой чертой, характерной для большинства впадин Северного и Центрального Тянь-Шаня является их асимметричность, отмеченное рядом исследователей [214,221].

Чуйская впадина по кровле палеозойского фундамента образует асимметричную синклинальную структуру, ось которой ориентирована в широтном направлении с северным длинным пологим и южным крутым и относительно коротким крыльями. На северном крыле впадины кайнозойский покров спокойно залегает на палеозойском фундаменте, а южное осложнено разломами типа надвигов и взбросов, по которым палеозойские породы Кыргызского хребта надвинуты на кайнозойские накопления впадины (Рис. 2.4).

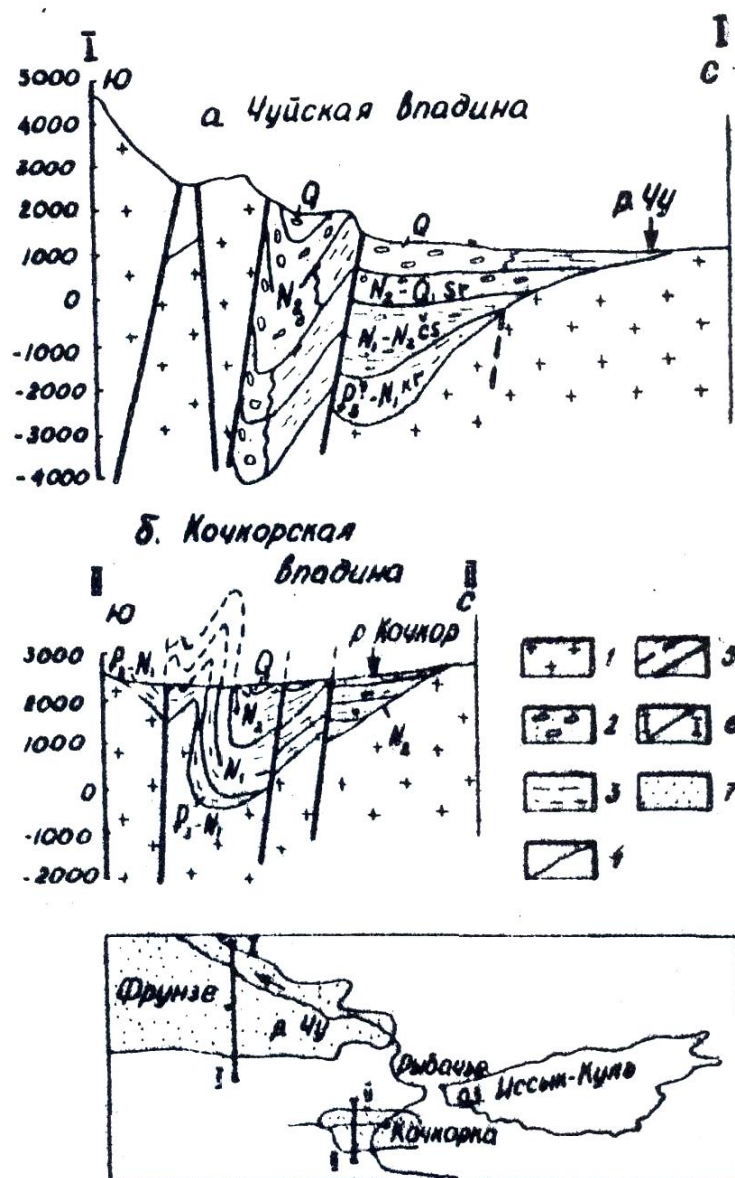


Рис. 2.4. Геологические профили Чуйской (I-I) и Кочкорской (II-II) впадин (по И.С.Садыбакасову) с упрощениями и дополнениями)
 1-палеозойский фундамент, 2-песчаники, галечники, конгломераты,
 3-глинистые отложения, 4-стратиграфические границы, 5-разломы,
 6-линии профилей, 7-впадины.

Согласно карте тектонического районирования по данным новейшей тектоники [222], Чуйская впадина делится на две области: интенсивного горообразования и горообразования умеренной интенсивности. Граница между ними проходит по флексурно-разрывной зоне, выделенной в фундаменте впадины по геофизическим данным [217]. Северная часть - Чуйской впадины - Чуйской моноклинали относится к области горообразования умеренной интенсивности, а южная - Предкыргызский

прогиб - к области интенсивного горообразования. Область интенсивного горообразования в целом характеризуется почти втрое большей контрастностью движений.

Иссык-Кульская межгорная впадина в структурном отношении представляет собой новейшую мегасинклиналь, выполненную кайназойскими отложениями (Рис.2.5). По морфологии, размещению и ориентировке новейших структур впадина делится на северную и южную части, являющиеся соответственно Предкунгейским и Предтерскойским прогибами.

Важнейшая структурная линия в фундаменте впадины - Транс - Иссыккульский разлом, выделенный по геофизическим данным [223], простирается с северо-запада на юго-восток. Этот разлом делит Предкунгейский прогиб на Балыкчинский блок, характеризующийся распространением брахморфных структур, и моноклираль Тюпского блока. В пределах Предтерскойского прогиба Транс-Иссыккульский разлом отделяет линейные складки и моноклираль Тюпского блока от брахморфных структур в Каракольском блоке.

В пределах Иссык-Кульской впадины [224] выделяют два максимума активизации новейших тектонических движений (максимум амплитуд, скоростей): северо-западный и юго-восточный. По северному горному обрамлению активизация уменьшается в восточном направлении, по южному - в западном.

Согласно [221], асимметричность межгорных впадин Тянь-Шаня отражает коренное различие существующих направлений в тектонических напряжениях. Со стороны крутых крыльев в этих впадинах приложены силы сжатия (надвиги, взбросы), к противоположным пологим крыльям силы растяжения (сбросы). В целом сложная геодинамическая обстановка межгорных впадин Тянь-Шаня обусловлена, по [214], интенсивными вертикальными движениями и значительным тангенциальным сжатием, направленным здесь субмеридиально.

В геологическом строении впадин принимают участие осадочные, эффузивно-осадочные и интрузивные породы полезного и протерозойского возраста, осадки мезокайнозоя. Палеозойские и протерозойские отложения, а также интрузивные образования составляют нижний структурный этаж (фундамент) и выходят на поверхность в пределах горного обрамления впадин. Они представлены амфиболитами и гнейсами кембрия, песчаниками с прослоями алевролитов, порфиритов, известняками и профиритами девона [225].

Каменноугольные отложения имеют широкое распространение в пределах хребтов, обрамляющих впадины и представлены известняками, разнотернистыми песчаниками с прослоями сланцев и алевролитов, а также разногальечными и валунными конгломератами.

Интрузивные породы различного возраста от позднепротерозойских до позднепалеозойских слагают значительные части площадей окружающих впадины хребтов. Они представлены, в основном, породами гранитоидного и гранодиоритового состава.

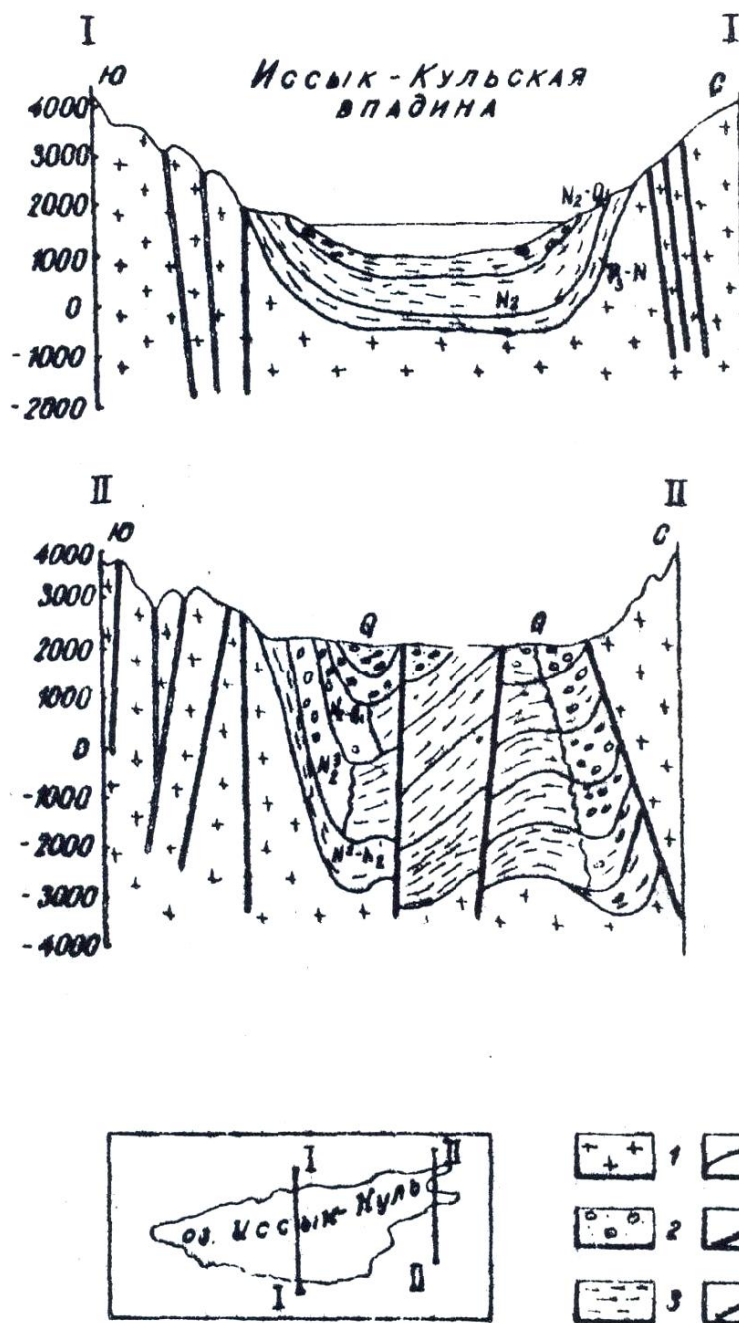


Рис. 2.5. Геологические профили Иссык-Кульской впадины (по И.С.Садыбакасову с упрощениями и дополнениями)
 1-палеозойский фундамент, 2-песчаники, галечники, конгломераты,
 3-глинистые отложения, 4-стратиграфические границы, 5-разломы,
 6-линии профилей

Палеогон-неогеновые отложения широко распространены в исследуемых впадинах. Средний структурный этаж, объединяющий отложения от палеогеновых до нижнечетвертичных, вскрывается под покровом четвертичной толщи на большей части впадины. На поверхность отложения среднего этажа выходят лишь в предгорьях, отделяющих впадины от хребтов.

Схемы стратиграфического расчленения палеоген-неогеновых отложений приводит в [225] следующим образом:

Кок турпакская (сулуктерекская) свита (P_{2-3}) представлена переслаивающимися глинами, мергелями и песчаниками с примесью гравелитов и брекчей. Мощность свиты 270-1300 м;

Киргизская свита (P^3-N_i) сложена загипсованными глинами, переслаивающимися с песчаниками и мергелями с прослоями глинистых известняков. Мощность свиты колеблется от 400-1100 м.

Миоцен-плиоценовые отложения большинством авторов объединены в свиты, одноименные с названием впадин. Так, в Чуйской впадине это Чуйская свита, в Иссык-Кульской - Иссык-Кульская свита. Эти свиты представлены ритмично чередующимися слоями и пачками алевролитов, паттумов, песчаников, конгломератов и фргиллитоподобных глин. Мощность миоцен-плиоценовых отложений составляет 500 - 2000 м.

Шарпылдакская свита (N_2-Q_i) на большей части впадин согласно залегает на миоцен-полиоценовых отложениях и представлена мощной (до 600 м) толщей конгломератов с линзами и прослоями разнотернистых песчаников и паттумов.

С размывом и резким угловым несогласием отложения шарпылдакской свиты перекрываются четвертичными отложениями верхнего структурного этажа. Мощность их достигает в центральных частях впадин 300-500 м. Представлены четвертичные отложения преимущественно аллювиально-пролювиальными, аллювиальными и озерными во впадинах, делювиальными, пролювиально-делювиальными, колювиальными, аллювиальными и ледниковыми в горной зоне.

Четвертичные отложения представлены, в основном, галечными и валунно-галечниками, а в пределах слабонаклонной равнины - главным образом, галечниками, перекрытыми суглинками с прослоями песков.

Геодинамика. В настоящее время подавляющее большинство исследователей связывают проявления сейсмической активности с перемещением блоков земной коры по разломам. Существуют представления, что наиболее крупные землетрясения приурочены к глубинным краевым разломам, имеющим протяженность сотни и тысячи километров.

Считается, что очаги землетрясений возникают в зонах уже существующих разломов, образовавшихся на предыдущих этапах

геологического развития Земли и "оживающих" в современную эпоху. Ниже приводятся характеристики наиболее крупных разломов, разбивающих Иссык-Кульский срединный массив и Чуйскую впадину, порождающих землетрясения в пределах изучаемой территории. При описании разломов использованы материалы коллективной монографии "Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины" [225] и работа [226].

Глубина проникновения разломов Северного Тянь-Шаня, по геофизическим данным от 20-40 до 60 км (разломы у северных подножий Киргизского хребта). По ним на 5-10 км смещены внутрикоровые границы и поверхность Мохоровича. Крупные разломы часто ограничивают края различных глыб, вследствие чего они фактически распадаются на отдельные звенья. Естественно, что частные глыбы и звенья разломов могут по-разному реагировать на современные тектонические движения и по этому обладают различной сейсмической активностью. Это приводит к тому, что, казалось бы, единая сейсмогенная зона на разных своих отрезках может порождать сейсмические толчки разной силы. Краевые и крупные новейшие разломы чаще всего являются взбросами, реже - надвигами, подвигами, сдвигами. Формирование взбросов и надвигов указывает на наличие тангенциального сжатия, ориентированного в целом меридионально. Величина сжатия оценивается в 3-5% от первоначальной ширины орогенного пояса [227].

Ниже приводится описание наиболее крупных разломов изучаемой территории Иссык-Кульской впадины (рис.2.6).

1. Тасминский разлом. Представляет собой взброс, сместитель которого падает в южных румбах. Вертикальные перемещения по указанному дизъюнктиву не превышают первых сотен метров. Данный разлом был активен и в позднем плейстоцене-голоцене, на что указывает приуроченность к нему полос с максимальными градиентами на карте вертикальных движений этого времени. Относительная скорость поднятия крыла разлома в позднем плейстоцене-голоцене не превышает 3 мм/год [228].

II. Предтерскейский разлом. Разделяет Терскейское поднятие и собственно Иссык-Кульскую впадину. Согласно данным новейшей тектоники, в месте пересечения с Транс-Иссыккульским разломом Предтерскейский разлом как бы распадается на две самостоятельно кулисно представляющие друг-другу ветви. Остановимся на описании его ветви, расположенной восточнее Транс-Иссыккульского разлома, поскольку именно здесь были проведены маршруты измерений ЕИЭМП. В рассматриваемом районе по Предтерскейскому разлому на 3000-4000 м взброшено южное крыло [217].

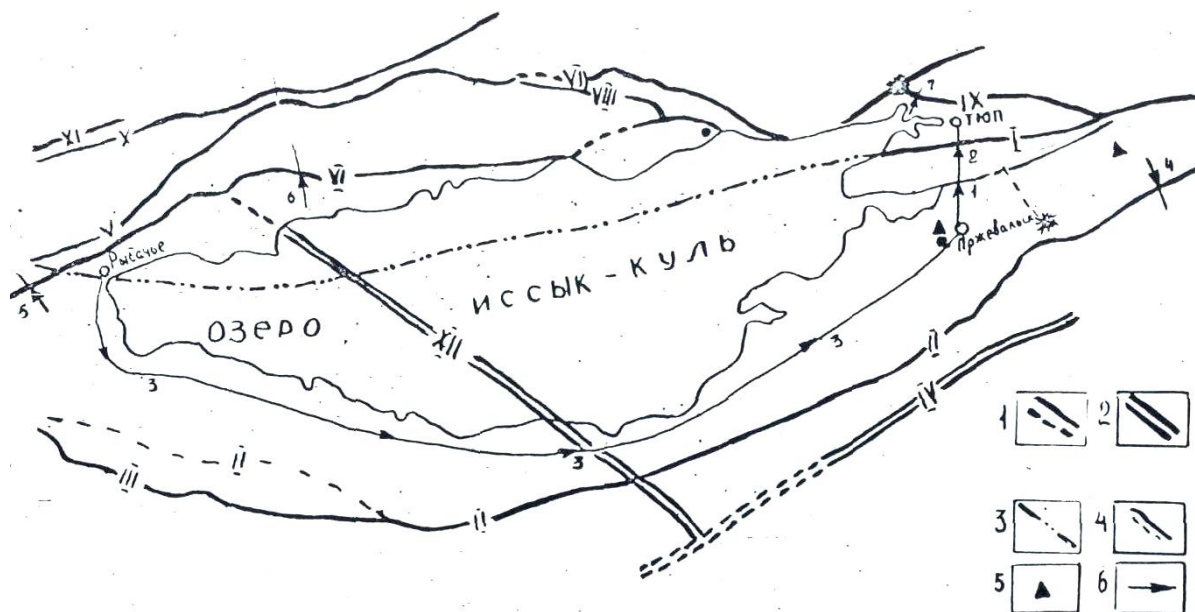


Рис.2.6. положение точек и маршрутов измерений ЕИЭМП на схеме важнейших разломов. Важнейшие краевые разломы (по О.К. Чедия и др.)
 1-новейшие (а-по геологическим, б-по геоморфологическим данным);
 2-доновейшие ; 3-по геофизическим данным; 4-по геоморфологическим данным; 5-местоположение вариационных станций ЕИЭМП;
 6-маршруты и направления движения.

Названия разломов: I-Тасминский, II-Предтерскойский, III - Карагунгейский, IV-Центрально-Терскойский, V-Тогузбулакский, VI-Культорский, VII-Северо-Аксуиский, IX - Талдысуйский, X-южно-кеминский, XI-Центрально-Кеминский, XII-Транс-Иссыккульский.

*-эпицентры Сарыкамышского и Жаланаши-Тюпского землетрясений,

• -пункты осциллографирования ЕИЭМП

Кроме основного краевого разлома в этом районе развиты второстепенные разрывы, среди которых следует отметить разрыв, протягивающийся в субширотном направлении

Он является подвигом, поскольку у него поднято северное крыло. Активность разрыва в позднем плейстоцене-голоцене устанавливается по деформациям террас соответствующего возраста.

III. Карагунгейский разлом. Представляет собой, по-видимому, одну из ветвей западной части Предтерскойского краевого разлома. Последний в этой своей части является типичным поддвигом.

IV. Центрально-Терскойский разлом.Выражает собой структурную линию, по которой тесно сомкнуты Западно-Терскойская и Восточно-Терскойская мегаантиклинали. Этот дизъюнктив, по всей видимости, был активен в течение неогенового времени, а затем активность перешла к Предтерскойскому разлому.

V. Тогузбулакский разлом. Простирается в северо-восточном направлении и в западной части Иссык-Кульской впадины отделяет ее горное обрамление от прогнутой части. Судя по карте суммарных деформаций предороженной поверхности выравнивания, составленной [224] О.К.Чедия, А.К.Трофимовым (1978), амплитуда движений по указанному разлому достигла 1000-1500 м.

VI. Культорский разлом. Широтного простирания. Служит границей центральной части Кунгейского поднятия и Иссык-Кульской впадины. В районе к северу от с. Торуайгыр он торцово причленяется к Тогузбулакскому. Амплитуды дифференциальных новейших движений вдоль разлома характеризуются величинами до 700 м в долине р. Тамчи и до 1000 м в бассейнах рек Кичи-Орто - Чон-Койсу. К этому разлому приурочена зона максимальных градиентов скоростей позднечетвертичных-голоценовых движений, что указывает на его значительную современную активность.

VII. Северо-Аксуйский разлом. Является продолжением Тогузбулакского разлома и прослеживается в юго-восточном направлении в районе с. Курменты. По мнению О.К.Чедия Северо-Аксуйский разлом и связанные с ним разрывы представляют собой систему взбросов с амплитудами вертикального перемещения от 200 до 700 м с элементами подвигания к югу.

VIII. Южно-Аксуйский разлом. В своей западной части представлен поддвигом, а в восточной - взбросом, с поддвигом висячего крыла к северу. Таким образом, гранеобразная структура, заключенная между указанными выше двумя разломами, по О.К.Чедия, представляет собой рампы, сформированный в условиях сжатия. По мнению других авторов [227,229], разрывы, ограничивающие Аксуйский грабен, являются сбросами.

IX. Талдысуйский разлом. Ограничивает Восточно-Кунгейскую мегаантиклиналь от Иссык-Кульской впадины. Амплитуды вертикальных перемещений по разлому - от 1000 м на запад, до 2400 м восточнее р.Талдысу. По своей морфологии этот разлом трактуется как взброс.

X-XI. Южно-Кеминский и Центрально-Кеминский разломы. Находятся значительно севернее Иссык-Кульской впадины в другой структурной зоне, поэтому описание их опускается (см 2.6 [230]).

XII. Транс-Иссыккульский разлом. Протягивается в северо-западном направлении, пересекая всю Иссык-Кульскую впадину. На большом своем протяжении разлом скрыт под водой и рыхлыми отложениями и трассируется по данным аэромагнитных съемок. Нужно отметить, что в течение герцинского этапа разлом играл роль барьера в распространении среднепалеозойских толщ к востоку [231]. Не менее значительную роль играет разлом в новейшей структуре и на современном этапе. Это

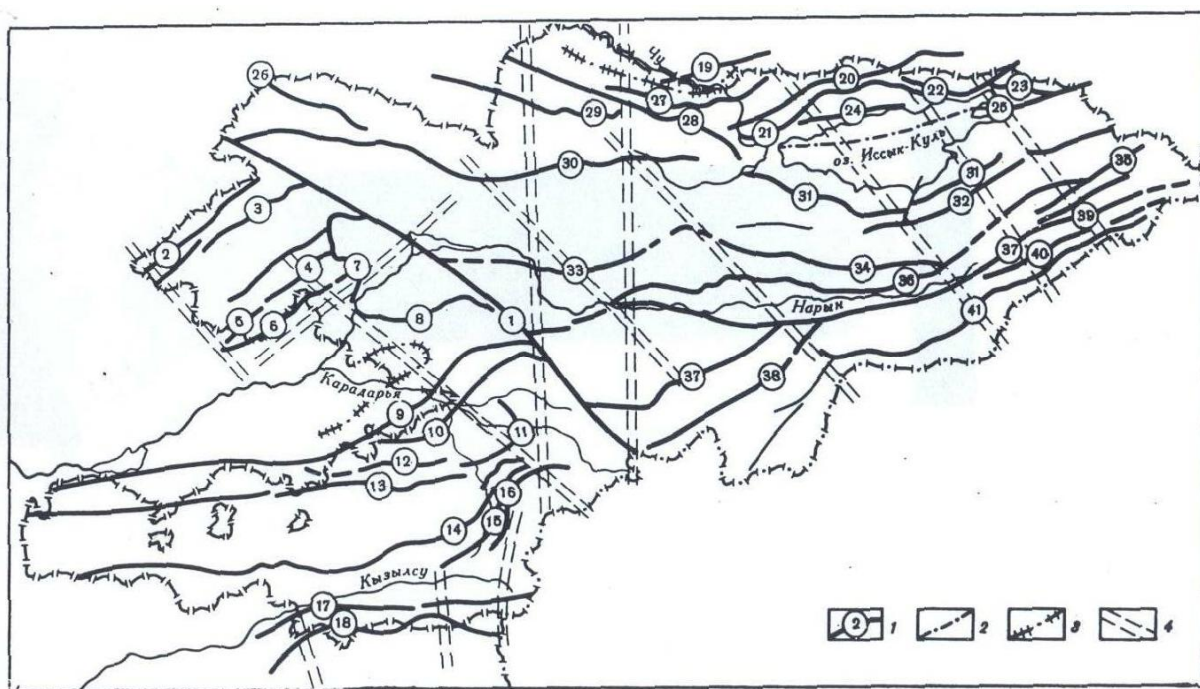
подтверждается как исследованиями теплового потока [232], так и анализом космических съемок [233]. Интересно отметить, что по характеру магнитного поля этот разлом в южной своей части располагается значительно западнее, и проходит в районе пос. Боконбаевский [234].

И наконец, разрывное нарушение, которое также было пересечено маршрутными наблюдениями ЕИЭМП, но не относится к категории краевых новейших разломов, протягивается вдоль долины р.Джержалан в субширотном направлении. Этот разрыв фиксируется геофизическими методами в фундаменте впадины [217], а на поверхности выражен флексурообразным изгибом среднеплейстоценовых отложений [228].

Этот разрыв получил название Джержаланского. Таким образом, другой важнейшей особенностью молодых разрывов Иссык-Кульской впадины является их повышенная активность на востоке и северо-востоке впадины. Здесь они повсеместно обладают импульсивным типом движений. Западная часть характеризуется широким развитием поддвигов, обладающих криповым типом смещения.

Чуйская впадина

В Чуйской впадине имеется три новейших краевых разлома глубиной проникновения в кору на первые десятки километров (рис.2.7).



*Рис. 2.7. важнейшие новейшие разломы и линеаменты Кыргызстана
(по Юдахину Ф.Н.)*

1-краевые разломы: 1-Таласо-Ферганский, 2-Пскемский, 3-Чандалашский, 4-Атойнокский, 5-Алабукинский, 6-Северо-Ферганский. 7-

Карасуйский, 8-Арсланбобский, 9-Южно-Ферганский, 10-Мадинско-Талдысуйский, 11-Тарский, 12-Катарский, 13-Южно-Наукатский, 14-Заамин-Каравшинский (Кичикалайский), 15-Гульчинский, 16-Ойтальский, 17-Заалайский (Вахшский), 18-Дарваз-Каракульский, 19-Предзаилийский, 20-Кемино-Чиликский, 21-Южно-Кунгейский, 22-Северо-Аксуыйский, 23-Талдысуйский, 24-Культорский, 25-Тасминский, 26-Ичкелетауский, 27-Иссык-Атинский, 28-Шамсинско-Тюндюский, 29-Чонкурчакский, 30-Нарынский, 37-Атбаши-Иныльчекский, 38-Чатыркелский, 39-Каиндинский, 40-Акишйракский, 41-Борколдойский: 2-разломы, выделенные по геофизическим данным; 3-флексурно-разрывные зоны, выделенные по геофизическим данным; 4-секущие линеаменты.

Это Иссык-Атинский (27), Шамшинско-Тюндикский (28) и Чонкурчакский разломы (29)-взбросо-надвиги с южным падением смесителей.

Основные проявления голоценовых движений по разломам этой структуры приурочены к ее южному борту, т.е. к зоне сочленения ее с Киргизской мегантиклиналью. Здесь в зоне Иссык-Атинского разлома (27),ограничивающего низкие предгорья от впадины, в [221] был описан надвиг, по которому красноцветные породы неогена надвинуты на рыхлые галечники верхнечетвертичного возраста, под углом 25°. Восточнее долины р. Иссык-Ата, в долине р. Кегеты, также закартированы подвижки по Иссык-Атинскому разлому. Здесь вертикальному смещению подверглись террасы высотой 7,10,12-13 и 25-30 м. Терраса высотой 5-6 метров пересекает зону разлома без смещений. Позднеплейстоценовые и голоценовые террасы долины р.Шамси, расположенной еще восточнее, плавно погружаются под молодые накопления Чуйской впадины, т.е. активность Иссык-Атинского разлома здесь затухает.

Таким образом, самые молодые по времени сейсмотектонические импульсы в зоне Иссык-Атинского разлома приурочены к ее крайней западной части и были связаны с Беловодским землетрясением 1885г. Более древние подвижки имели место в районе долины рр.Ала-Арча, Аламедин, Джеламыш. Здесь подвижками не затронута позднеголоценовая терраса. Наконец, наиболее древние импульсы произошли в районе рр.Иссык-Ата,Кегеты,где деформирована терраса высотой до 15 м.

Другим важным в структурном отношении разломом, по которому происходили смещения в голоцене, является Чонкурчакский разлом (29). На протяжении новейшего этапа он выполнял функции краевого и ограничивал зону Киргизского хребта, устойчиво поднимавшуюся с олигоцена от зоны высоких предгорий, вовлекшейся в поднятие с плиоцена. В четвертичное время, в связи с вовлечением в поднятие зоны

низких предгорий Чонкурчакский разлом является краевым только западнее долины р. Кара - Балты.

Интересна конфигурация этого разлома. На меридиане долины р.Аламедин он резко меняет свое простирание на северо-восточное и затухает. Восточнее он подставляется Шамсинско-Тюндюкским разломом субширотного простирания. Здесь же в Чонкурчакской впадине геологической съемкой закартировано несколько надвиговых чешуй в висячем крыле разлома активных на новейшем этапе. Это чешуи могут рассматриваться как следствие общего перемещения Киргизского хребта к северу. Активность Чонкурчакского разлома в четвертичное время устанавливается по резкому вздергиванию террас в поднятом южном крыле с амплитудой от 150 м до 1100м.

Наиболее яркие проявления голоценовой активности выражены в одноименной впадине в виде системы сейсмотектонических рвов и трещин, протяженностью до 5 км, шириной до 5-6 метров и глубиной до 11 метров. Судя по единичному уступу, пересекающему долину р. Аламедин, возраст сейсмотектонической подвижки голоценовый [235]. В целом морфологически описываемый дизъюнктив представляет собой козырьковый надвиг [214].

В долинах р.Сокулук к зоне разлома приурочены грандиозные обвалы в коренных породах. Голоценовые террасы р.Сокулук в зоне разлома смещены на 1,5 м, причем величина смещений одинакова для разновозрастных террас, что свидетельствует об импульсной подвижке.

Западнее долины р. Карабалта голоценовые смещения в зоне Чонкурчакского разлома не отмечены. Косвенно об его активности свидетельствует приуроченность очага Меркенского землетрясения 1865 года, однако точность определения координат эпицентра землетрясения не высока.

Шамсинско-Тюндюкский разлом (28), который кулисно представляет Чонкурчакский разлом и простирается в восточном направлении, также отличается голоценовой активностью. В долине р.Аламедин по разлому смещена на 10-15 м позднеплейстоценовая терраса, а по одному из оперяющих разломов - и среднеплейстоценная терраса на 25-30 м. Восточнее долины р. Аламедин, в пределах восточной части Байтыкской впадины, Шамсинско-Тюндюкский разлом проходит в основании Учмечекской брахиантиклинали. Смещения по разрыву привели к антиклинальной деформации голоценовых террас и вызвали тектонический подпор речных вод.

В долине р. Шамси к зоне разлома приурочен целый комплекс сейсмодислокаций. Группировка сейсмодислокации на небольшой площади позволяет предположить, что именно этот район являлся эпицентром Баласагунского землетрясения 1475 года [226].

Кроме того, Шамшинско-Тюндюкский разлом в этом районе довольно резко отворачивает к юго-востоку, а с северо-востока сюда приключаются молодые разрывы, являющиеся предположением Кеминской зоны активных разломов. Поэтому здесь возник дизъюнктивный узел.

Восточная часть Чуйской впадины интересна также тем, что здесь произошло сильное Кеминско-Чуйское землетрясение 1938 г ($M = 6,5$).

Характер расположения антиклинальных складок (кулисное подставление и смещение по молодым разрывам) указывают на то, что в целом структура в эпицентральной зоне Кемино-Чуйского землетрясения образовались в обстановке левого сдвига [226].

Как видно из описания активных разломов центральной части Чуйской впадины, их морфология и кинематика позволяет делать вывод о наличии здесь значительного тангенциального сжатия. Более того, ранее в работе [236] указывалось, что сжатие привело к появлению сдвигов в фундаменте впадины, причем центром скалывания являлся район Чонкурчакской впадины, к западу от которого развивались правые сдвиги, а к востоку - левые. В рельефе эти сдвиги не выражены, так как перекрыты мощней толщей рыхлых кайнозойских отложений. Вместе со сдвигами блоков в фундаменте впадины происходит выдавливание относительно мягких пластичных пород, которыми сложены низкие предгорья к северу. По нашим оценкам в наиболее продвинутой части величина выдавливания составляет 5-6 км.

По мере приближения к восточной части Чуйской впадины в характере смещений по активным разломам начинает проявляться сдвиговая составляющая смещений, которая наиболее ярко начинает проявляться по активным разломам Чон-Кеминской (Новороссийской) впадины.

2.4. Характеристика геофизических полей.

Для детального изучения обнаруженных аномальных геофизических сигналов, перед различными катастрофическими явлениями требуется проведение тщательного анализа ранее наблюдаемых геофизических полей. Геофизические поля Чуйской и Иссык-Кульской впадины в основном описываются магнитометрическими, гравиметрическими и геофизическими исследованиями. Наиболее детальные и широкие геофизические исследования территории Кыргызстана проводятся сейсмологическими методами КМПВ, МОЗ, ГСЗ.

Более комплексные геофизические исследования Тянь-Шаня приведены Ф.Н.Юдахиным [217]. Дальнейшие суждения привязываются к терминологии данной работы.

2.4.1. Магнитное поле

Аномальное магнитное поле ΔT изученной территории характеризуется преимущественно отрицательными значениями, на фоне которых выделяются отдельные и групповые положительные аномалии, различные по величине, морфологии и простираению длинных осей. Интенсивность поля изменяется от - 25 до + 70 миллиэрстед (М Э), его горизонтальной градиент достигает значений 50 мЭ/км.

По характеру магнитного поля на изученной территории выделяются три области - Северо-Тянь-Шаньская, Центрально-Тянь-Шаньская и Ферганская, соответствующие отдельным различно построенным блокам земной коры (рис.2.8). Границы между областями аномального магнитного поля совпадают с крупными региональными глубинными разломами, четко трассируемыми по особенностям магнитного поля - важнейшей структурной линии Тянь-Шаня и Таласо - Ферганского разлома. Указанные области подразделены на аномальные зоны с характерными для каждой из них общими признаками.

В Северо-Тянь-Шаньской области выделяется шесть аномальных зон. 1. Северо-Киргизская, 2. Чуйская, 3. Чу-Илимская, 4. Илимская, 5. Заилимская, 6. Иссык-Кульская. Они характеризуются расчлененным магнитным полем с равновесным количеством положительных и отрицательных аномалий. На фоне знакопеременного магнитного поля выделяются относительно спокойные преимущественно положительные поля Чуйской, Иссык-Кульской и Илимской впадин.

2.4.2. Геоэлектрический разрез

Общей чертой для всех впадин Кыргызстана по [217] является уменьшение электрических сопротивлений осадков мезозоя-кайнозоя сверху вниз по разрезу и в направлении от периферии впадин к их центральным частям.

Наиболее хорошо изучен разрез Чуйской впадины. Здесь пробурен ряд скважин, на которых выполнены параметрические зондирования. Разрез фундамента изучен хуже. Согласно [217], удельное сопротивление пород Бишкекского полигона варьирует в весьма широких пределах. В целом для пород фундамента, а так же для орогенического яруса осадочного комплекса характерны высокие от (200 до нескольких тысяч Ом на метр) значения удельного сопротивления. Пониженные (до 20 Ом.м) значения свойственны платформенному ярусу, слагающему нижнюю часть разреза Чуйской впадины. Удельное сопротивление пород осадочного чехла Чуйской впадины падает с глубиной от 250-3000 м.м для верхнего слоя валуногалечника до 10 Ом.м для отложений Киргизской свиты и достигает

минимальных (3-10 Ом.м) значений в нижней части осадочного чехла на глубине 3-4 км. на отложениях Кок-турпакской свиты палеогена. Эта свита состоит из красно-цветных глин и суглинков, нередко засоленных и загипсованных. Низкие значения удельного сопротивления (10-20 Ом.м) свойственны, залегающим в верхней части докембрийского основания. Осадочный слой впадины аппроксимируется вытянутой проводящей структурой, величина S изменяется от первых единиц до 330 см, увеличиваясь с севера на юг.

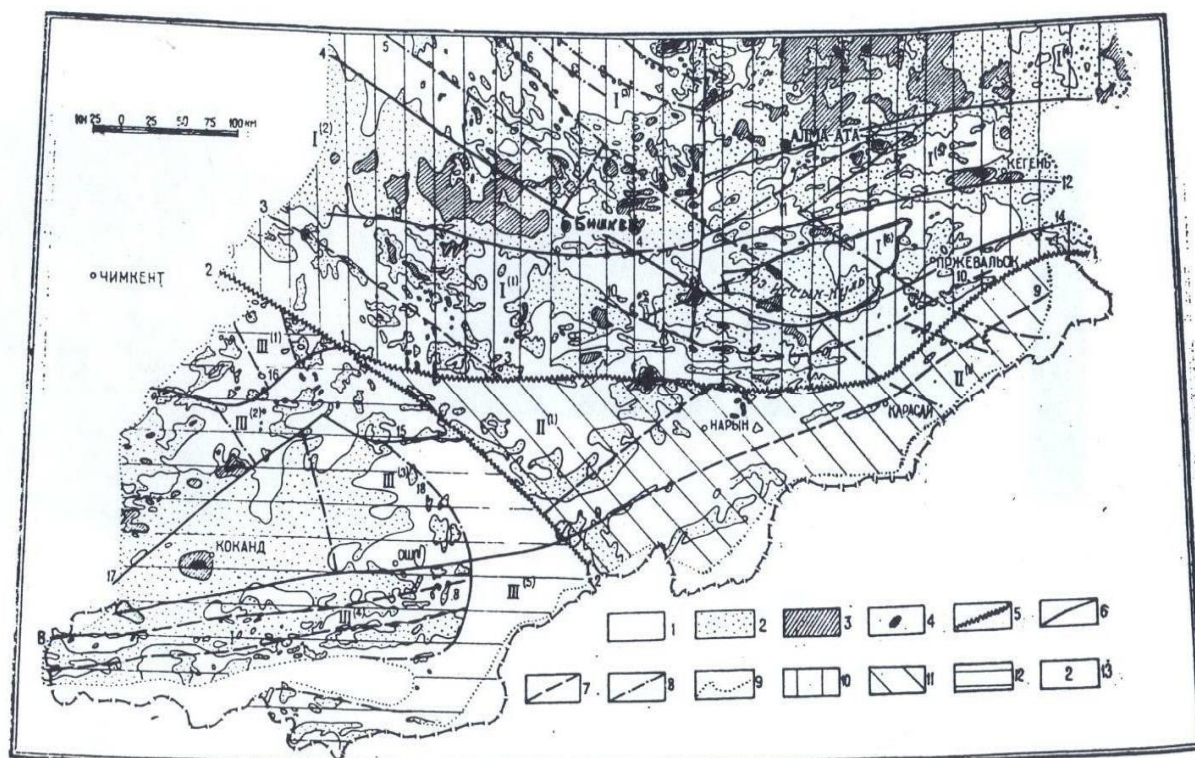


Рис. 2.8. Районирование территории Тянь-Шаня по характеру магнитного поля ΔT (по Юдахину Ф.Н.).

- 1-отрицательные магнитные поля различной интенсивности;
- 2-положительные магнитные поля интенсивностью от 2 и до 5 мЭ,
- 3-положительные магнитные поля интенсивностью от 2 до 5 мЭ,
- 4-локальные магнитные максимумы интенсивностью свыше 5 мЭ,
- 5-глубинные разломы, разделяющие области с различным характером магнитного поля;
- 6-глубинные разломы, разграничивающие аномальные зоны в пределах областей;
- 7-глубинные разломы в пределах областей, выделенные по локальным особенностям магнитного поля;
- 8-прочие разломы, выделенные по данным магнитной съемки;
- 9-границы аэромагнитных съемок, материалы которых использованы для анализа магнитного поля;
- 10-Северо-Тянь-Шанская аномальная область (1): Северо-Киргизская аномальная зона (1⁽¹⁾),

Чуйская аномальная зона (1⁽²⁾), Чу-Илийская аномальная зона (1⁽³⁾), Илийская аномальная зона (1⁽⁴⁾), Заилийская аномальная зона (1⁽⁵⁾), Иссык-Кульская аномальная зона (1⁽⁶⁾); Центрально-Тянь-Шанская аномальная область (11); (12) - Ферганская аномальная область (111): Чаткальская аномальная зона (111⁽¹⁾) Чаткало-Ферганская аномальная зона (111⁽²⁾), Центральная-Ферганская аномальная зона (111⁽³⁾), Южно-Ферганская аномальная зона (111⁽⁴⁾), Алайская аномальная зона (111⁽⁵⁾); 13-цифры у разломов: 1-линия Николаева, 2-Таласо-Ферганский, 3-Ичкелетоо-Суусамырский, 4-Центрально-Чуйский, 5-Северо-Чуйский, 6-Джалаир-Найманский, 7-Центрально-Казахстанский, 8-Южно-Ферганский, 9-Атбаши-Иныльчекский, 10-Центрально-Терский, 11-Кеминский, 12-кунгейский, 13-Транс-Иссык-Кульский, 14-Северо-Терский, 15-Чаткальский 16-Фергано-Атойнокский, 17-Северо-Ферганский, 18-Восточно-Ферганский, 19-Северо-Тянь-Шанский.

Иссык-Кульская впадина. Верхняя часть сложена валуно-галечниками сопротивлением 230-940 Ом.м, суглинками - 85-350 Ом.м, песчанно-глинистыми отложениями с прослоями мелкой гальки сопротивлением 60-80 Ом.м. Надпорный горизонт (мощностью до 6000м. в восточной части впадины) сложен преимущественно породами глинисто-аргеллитпесчанного состава палеоген-неогенового и юрского возраста, иногда соленосными. Сопротивление этого горизонта изменяется от 4 до 11 Ом.м в центральной части впадины и повышается по мере приближения к бортам до 10-48 Ом.м. Структура продольной проводимости (S) осадочного слоя впадины в целом соответствует наложенному прогибу, проводимость ее меняется от единиц до 667см, увеличиваясь от периферии к центру. Наиболее высокими значениями обладает восточная часть впадины, центральная часть которой осложнена локальными неоднородностями изотермической формы. В предгорной области переход от слабопроводящих участков к проводящим довольно резкий, изменение S здесь достигает 100 См на 1 км.

2.4.3. Гравитационное поле

По данным ряда исследований [217, 237] Тянь-Шань располагается в области обширного планетарного минимума силы тяжести, свидетельствующего о существенной плотностной неоднородности подкорового вещества. Региональное гравитационное поле характеризуется общим понижением значений в направлении с северо-северо-запада на юг-юго-восток.

На фоне регионального поля силы тяжести выделяют положительные и отрицательные гравитационные аномалии и зоны высоких

горизонтальных градиентов поля второго, третьего и более высоких порядков. Указанные аномалии, которые Ф.Н.Юдахин [217] связывает с плотностными неоднородностями в земной коре Кыргызского Тянь-Шаня.

Отрицательные значения остаточных гравитационных полей охватывают складчатые сооружения Северного, Срединного Тянь-Шаня и восточную часть Фергано-Кокшаальской области. Указанная полоса характеризуется широким развитием гранитоидных плутонов, достигающих в Северном Тянь-Шане гигантских размеров. Большое удельное содержание в верхней части земной коры легких кислых образований, во многих случаях проплавивших и ассимилировавших первоначальные породы другого состава, обусловило отрицательные значения гравитационного поля. С другой стороны, на значительной части территории в пределах рассматриваемой полосы отмечается разуплотнение вещества мантии, что также вызвало понижение поля. Относительно положительными величинами аномалий силы тяжести в пределах рассматриваемой полосы авторы работ [217, 237], выделяют районы Иссык-Кульской и Таласской впадин, в основании которых залегают плотные массы слабогранитизированных пород дорифейского кристаллического фундамента.

Зоны высоких горизонтальных градиентов поля силы тяжести различных порядков отражают местоположение и простираение крупных тектонических нарушений. Во многих случаях они совпадают с известными глубинными разломами или с отдельными их звеньями. В ряде площадей зоны высоких горизонтальных градиентов гравитационного поля связаны со скрытыми тектоническими нарушениями, не зафиксированными на поверхности в результате проведения геологических съемок. В некоторых случаях градиентные зоны отмечают участки резкой смены литологического состава докембрийских пород, не связанной с тектоническими контактами.

2.4.4. Сейсмологический разрез и общие сведения о сейсмичности

По данным сейсморазведки КМПВ и МОВ в толще мезозойско-кайназойских пород, заполняющих межгорных впадины Кыргызского Тянь-Шаня, отмечен ряд преломляющих и отражающих горизонтов, часть из которых носит характер опорных [217].

Во впадинах Северного Кыргызстана, где проводились сейсмометрические работы методом преломленных волн, отмечены следующие преломляющая границы с граничной скоростью

- 3,0 - 4,4 км/с "зеленая" волна
- 4,0 - 5,5 км/с "синяя" волна
- 4,5 - 4,7 км/с "коричневая" волна

Опорный преломляющей горизонт ("красная" граница) составляет в пределах Чуйской впадины 5,4-5,8 км/с, Иссык-Кульской -5,3-5,8, Нарынской -5,6 - 6,0, Кочкорской -4,2 - 5,6, Таласской -5,3 - 5,9, Верхне - Нарынской - 4,6 - 5,2, Ферганской - 6,0 - 6,2 км/с.

По сейсмичности исследования территория входит в пределы Северо-Тяньшанского сейсмического пояса, характеризующегося такими сильнейшими землетрясениями, как 9-10 балльное Беловодское 1885г, 9-10 балльное Верненское 1887г, 10-11 балльное Кеминское 1911г, 8-9 балльное Кемино - Чуйское 1938г, 9 - 10 балльное Суусамырское 1992 г. и другими.

По данным [217] сейсмичность Северо-Тяньшанской сейсмогенной зоны связана с древними глубинными разломами -Северо-Тяньшанским, Кеминским и Кунгейским, разрывающими земную кору и проникающими в верхнюю мантию. Анализ данных о распределении глубин очагов землетрясений (там же) показывает, что подавляющее большинство очагов распространяется на глубине 5-15 км, реже 15-30км, т.е. очаги располагаются в верхней части земной коры, а точнее в домезойском основании.

В.И.Кнауфом и др [231] установлено, что очаги землетрясений Тянь-Шаня приурочены к поверхностям дискретностей, разделяющих различные по составу и возрасту элементы древней структуры. Такими поверхностями являются вертикальные и наклонные разломы, а также субгоризонтальные границы сред с различными физическими параметрами (поверхность разлома догеосинклинального основания и геосинклинального комплекса, поверхности разделов между различными структурными этажами). В то же время, по данным О.К.Чедия [238], пространственное размещение очагов землетрясений, частота и сила сейсмических проявлений оказывают влияние не только древние структуры, но и интенсивность новейших тектонических движений. При этом наиболее сейсмоактивны молодые разрывы и зоны, где прогибание сменилось поднятием в течение четвертичного времени. Области устойчивых поднятий и устойчивых прогибаний на протяжении новейшего этапа, напротив, являются сейсмически относительно спокойными.

Анализ геологических факторов, предопределяющих структурное положение эпицентров, конфигурацию и расположение плейстоценовых зон известных землетрясений, проведенный в работе [224,239], позволил выделить в пределах крупных межгорных впадин Иссык-Кульской и Чуйской и их горного обрамления ряд сейсмоактивных зон. В Чуйской впадине выделены Южно-Чуйская зона, в общих чертах совпадающая с южными границами Чуйской впадины, и Северо-Чуйская, вытянутая вдоль северного ее контура. В Южно-Чуйской зоне очаги землетрясений в основном приурочены к восточной части глубинного разлома, протягивающегося вдоль Кыргызского хребта. В западном погружении

Кыргызского хребта сейсмическая активность проявляется слабее. Северо-Чуйская зона прослеживается, в основном, в северо-восточной части горного обрамления Чуйской впадины.

В пределах Иссык-Кульской впадины Кунгейская (северная) и Терской (южная) сейсмоактивные зоны, приурочены к одноименным хребтам. При этом большинство очагов сильных землетрясений расположены в Кунгейской зоне. Терской зона характеризуется землетрясениями ниже 13 класса, за исключением Сарыкамышского землетрясения 1970г ($K=16$).

Геодинамические условия проявления очагов сильных землетрясений Кыргызского Тянь-Шаня рассмотрены авторами [240]. Тянь-Шань рассматривается как микроплита, ограниченная с севера и с юга крупными разломами. Северо-Тянь-Шанский разлом отделяет Тянь-Шань от Туранской плиты и Казахского щита, Южно-Тянь-Шаньский - от Таримской плиты и Афгано - Памирского орогена. Основная доля сейсмической энергии выделяется в пределах этих крупных граничных разломов. Именно здесь на участках контакта складчатой системы Тянь-Шаня с примыкающими платформенными структурами имели место наиболее сильные землетрясения Тянь-Шаня с $M=8,3$; здесь же наблюдается резкое изменение мощности земной коры в сторону Тянь-Шаня. Это находит отражение и в рельефе дневной поверхности, и в контрастности современных тектонических движений.

Авторы [240] считают, что именно здесь на границах Тянь-Шаня и примыкающих платформенных структур, происходит концентрация тектонических напряжений.

Известно, что Тянь-Шаньская микроплита диагональным Таласо-Ферганским разломом делится на два геоблока, существенно различающихся как по характеру глубинного строения, так и по геодинамической обстановке. Землетрясения, происходящие внутри Тянь-Шаньской микроплиты, характеризуются меньшими магнитудами. Авторы [240] предполагают, что это происходит вследствие того, что основная масса сейсмической энергии выделяется по краям микроплиты, а напряжения во внутреннюю ее часть передается в результате субмеридиального сжатия со стороны Индо-Австралийской литосферной плиты. Это обстоятельство приводит к тектонической расслоенности земной коры Тянь-Шаня и особенно ее верхней части и дроблению последней на тектонические блоки наклонными и субвертикальными разломами более высоких порядков, чем отмеченные выше граничные Северо-Тянь-Шаньский, Южно-Тянь-Шаньский и диагональный Таласо-Ферганский.

Они [240] рассмотрев структурные и геодинамические условия, в которых происходят землетрясения умеренной силы во внутренних

частях Тянь-Шаньской микроплиты на примере Жаланаш - Тюпского, Сары-Камышского землетрясений (Северного Тянь-Шаня) и Исфара-Баткенского (Южного Тянь-Шаня) пришли к следующему выводу. Индивидуальные проявления каждого из рассмотренных землетрясений определяются конкретными особенностями района. Однако для всех очаговых зон очевидна их приуроченность к кровле электропроводящего слоя и тяготению к изотерме в 400 градусов по Цельсию, т.е. для возникновения очагов землетрясений умеренной силы важным фактором является горизонтальная расслоенность среды по физическим свойствам.

Очаги главных толчков возникают там, где резко меняются электропроводящие и прочностные (изотерма 400 градусов по Цельсию) свойства среды. С другой стороны, также очевидна приуроченность очаговых зон рассмотренных землетрясений к участкам повышенной плотности сейсмоактивной толщи земной коры; сейсмический процесс начинается (главный толчок) в зоне максимальных градиентов плотностных неоднородностей рассматриваемого слоя земной коры и в дальнейшем развивается (афтершоковая деятельность) в глубь повышенной плотности. Авторами замечено также, что очаговые зоны землетрясений умеренной силы располагаются вблизи поперечных структур (линеаментов) и перегибов сейсмических границ земной коры, включая границу М. Кроме этого, авторы предполагают, что подвижки по существующим крупным разрывным структурам не являются основной причиной возникновения землетрясения, скорее являются вторичными эффектами.

В работе [241], проанализировав структурные и геофизические особенности региона в сопоставлении с данными по сейсмическому режиму, и в том числе по сохранившимся следам древних сейсмических катастроф, которые отображены на целом комплексе специальных вспомогательных карт, составленных по территории, выделили в ее границах 20 сейсмогенных зон (рис.2.9), т.е. зоны вероятного возникновения ожидаемых землетрясений (ВОЗ). С генетических позиций правильнее называть их сейсмогенерирующими или способными породить возникновение очагов землетрясений.

Указывается, что в пределах этих зон могут возникать землетрясения с $M - 5,5$ и более, что крайне опасно для различного рода строительства в границах данной зоны.

При выделении зон ВОЗ авторы базировались на следующих критериях [241]:

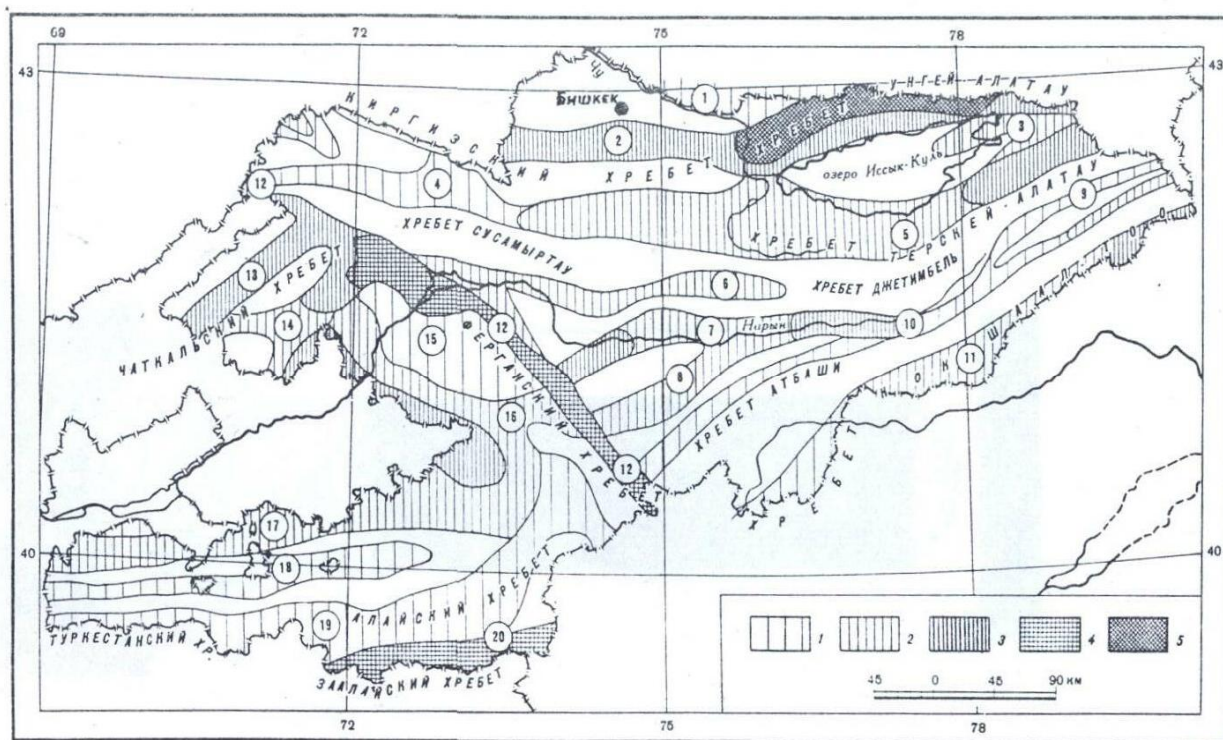


Рис. 2.9. Карта сейсмогенерирующих зон Кыргызстана (по 241). Северо-Восточный Тянь-Шань, зоны: 1-Киндыктасская (Северо-Чуйская), 2-Северо-Тянь-Шанская (Предкиргизско-Кемино-Чиликская), 3-Тасминская, 4-Южно-Таласская, 5-Джумгалско-Терскайская, 6-Сонкельская, 7-Акишйрак-Нарынская, 8-Байбичетауская, 9-Куйлю-Сарыджазская, 10-Атбаши-Иныльчекская, 11-Северо-Кокшаальская; Юго-Западный Тянь-Шань; 12-Таласо-Ферганская, 13-Сандалашская, 14-Атойнокская, 15-Карасуйско-Арсланбобская, 16-кугартско-Талдыкская, 17-Южно-Ферганская, 18-Хайдарканская, 19-Туркестано-Алайская, 20-Гиссаро-Какшальская

1-5 - максимальные магнитуды ожидаемых землетрясений: 1-до 5,5, 2-до 6,6, 3-до 7,5, 4-до 8,5 - >8

1. Очаги сильных землетрясений сконцентрированы в основном в зонах крупных "живых" разломов. К местам наибольшего скопления слабых землетрясений или к краевым частям в этих местах также приурочены очаги сильных землетрясений. Следовательно, области с повышенной сейсмической активностью следует считать наиболее опасными участками.

2. Области с высокой повторяемостью сильных и разрушительных землетрясений относятся к зонам возникновения землетрясений максимальной энергии, т.е. мерой сейсмической опасности является период повторяемости наиболее сильных землетрясений.

3. Когда в пределах структурной зоны наблюдаются два сейсмоактивных участка, разделенных небольшим районом, геологические критерии отнесения зоны к сейсмическим - обоснованным.

Таким образом, в основу выделения сейсмоопасных зон по сейсмологическим данным положены: пространственно-временное распределение как слабых, так и сильных землетрясений; сейсмическая активность и плотность эпицентров, приуроченных к конкретной геологической структуре; размеры и мощность сейсмических слоев; долговременный уровень сейсмической активности и вероятные максимальные землетрясения в этих участках, а также месторасположение сейсмоопасных узлов и т.п.

По геологическим данным положены: [214.241,242]

1. Максимальный уровень накопления энергии упругой деформации и ее разрядки в виде сильных землетрясений приурочены к догеосинклинальному основанию.

2. Поверхности тектонических смещений на уровнях автотаморфических преобразований в гипербазитах. Они залегают на больших глубинах и по этим субгоризонтальным срывам могут смещаться большие массы горных пород. При этом произойдут генерации достаточно сильных землетрясений.

3. Линеаментные структуры. Обычно они являются секущими к построению основных геологических структур. Дорожки эпицентров, часто следующие вдоль линеаментных "борозд", указывают на их сейсмическую активность.

4. Зоны повышенных градиентов скоростей вертикальных новейших и особенно позднеплейстоценовых движений, которые обычно трассируют флексурно-разрывные зоны в фундаменте впадин, а иногда и не совпадают с ними. Последние особенно сейсмоопасны, так как содержат участки накопления упругой энергии, которая в соответствующее время может привести к образованию разлома или к наращиванию уже имеющегося.

5. Полосы с аномально высоким значением тангенциального регионального сжатия, превышающим 0,07, а иногда и 0,10. Эти участки обычно отличаются повышенной плотностью эпицентров землетрясений и в том числе довольно сильных.

6. Учет механических свойств и особенностей. Чем "жестче" среда, тем выше накапливающиеся в ней напряжения и сильнее землетрясения.

Таким образом, по многочисленным исследованиям сейсмическое поле региона характеризуется следующими особенностями:

1. 95% территории Кыргызского Тянь-Шаня относится к 8-9 бальным сейсмическим зонам;

2. Наиболее сейсмоактивными являются самые молодые разрывы и зоны, где прогибание сменялось поднятием в течение четвертичного времени;

3. Практически все сильные землетрясения Тянь-Шаня возникают в жестком гранитогнейсовом догеосинклинальном основании, а в пластичных породах меланократового основания происходят более часто слабые землетрясения;

4. Из анализа макросейсмических данных установлено, что затухание сейсмических колебаний вкрест простираения геологических структур больше, чем вдоль них. В различных геологических условиях коэффициент уменьшения балльности изменяется от 3.0 до 5.0 Средний коэффициент для всей территории Кыргызского Тянь-Шаня равен 4.0 при этом вдоль структур 3.3, вкрест - 4.5;

5. Более чем в 50% случаях землетрясениям предшествует сейсмическое затишье;

6. Области максимумов сейсмической активности совпадают с центральными зонами сильных землетрясений, но различаются по величине A_{10} ;

7. Сильным землетрясениям редко предшествует активная форшоковая деятельность;

8. Миграция очагов сильных и слабых землетрясений как по площади, так и по глубине может являться долгосрочным предвестником сильного землетрясения;

9. Почти все разрушительные землетрясения возникали каждый раз на новом месте, преимущественно, между очагами или на продолжении бывших сильных толчков в пределах одного разлома, т.е. наблюдалась миграция очагов по разломам (рис.2.10).

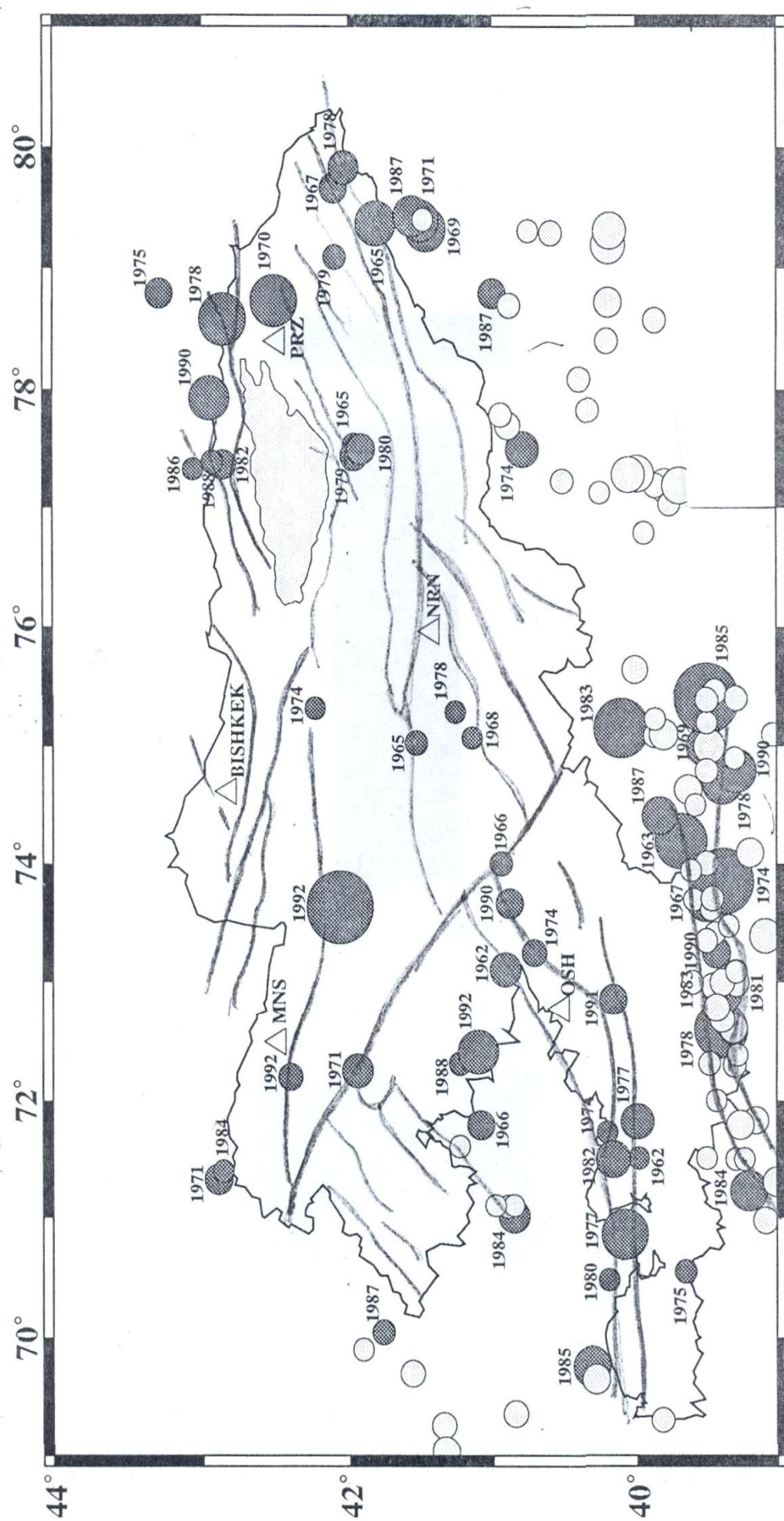


Рис. 2.10. Распределение эпицентров землетрясений ($K \geq 13$) за период 1962-1992 гг. и важнейшие разломы (по данным ОМСЭ ИС НАН КР)

2.4.5. Современные движения земной коры на геодинамических полигонах Кыргызстана

Современные движения земной коры (СДЗК) важны для прогнозирования сильных землетрясений, особенно в пределах зон промышленного и культурного строительства и являются важной составной частью исследований современной геодинамики. Проводимые на геодинамических полигонах Кыргызстана Абдрахматовым и Цурковым [243, 244] повторные геодезические измерения дают возможность рассмотреть взаимоотношения СДЗК с длительно развивающимися структурами и сравнить эти зоны в количественном отношении.

Бишкекский геодинамический полигон

Карта СДЗК указанного полигона показывает, что средняя скорость опусканий в период с 1971 по 1984гг. в пределах Чуйской впадины составляла - 0,2-3,8 мм/год. Район низких предгорий испытывал поднятие со скоростью 0,2-2,2 мм/год. Поле современных смещений не отвечает основным структурам района. Наиболее хорошее совпадение с морфоструктурными элементами показывает распределение скоростей движений в период с 1971 по 1982гг. В этом случае скорость поднятия низких предгорий составляла 0,7-1,9 мм/год, а расположенная южнее Байтикская впадина опускалась со скоростью 0,1-1,1 мм/год. Показательно, что поле скоростей отражает процесс вовлечения прилегающих частей впадины в поднятие низких предгорий. Линейно-угловые построения в зоне сочленения Чуйской впадины с низкими предгорьями указывают на наличие сжатия в этом районе.

При этом низкие предгорья как бы "выдавливаются" в северном направлении со скоростью до 7-25 мм/год. В тыловой части предгорий образуется зона растяжения (Байтикская впадина).

Восточно-Иссыкульский полигон

Почти вся территория полигона, охватывающая Восточное Прииссыкулье в период с 1971 по 1986гг. опускалась со средней скоростью 2-3 мм/год. Наибольшие опускания приурочены к прибрежной части Тюпской и Джергаланской синклиналей (-3,3 мм/год). К востоку опускания сменяются поднятиями, которые достигают 4,1 мм/год в пределах Чимтасминского поднятия. Судя по характеру движений земная кора в пределах полигона испытывает "перекос" с востока на запад.

Одной из особенностей современных движений земной коры на геодинамических полигонах Кыргызстана является их блоковый характер.

Это проявляется в том, что при анализе нивелирных линий, проведенных в большинстве случаев поперек основных тектонических зон, отличающихся скоростью и знаком новейших движений, выявляются участки с различным характером вертикальных деформаций. В пределах участков деформации одинаковы. Границы выделенных участков в ряде случаев не совпадают с границами новейших тектонических зон. Например, в Чуйской впадине (Бишкекский геодинамический полигон), низкие предгорья и часть Чуйской впадины, которая в четвертичное время опускалась, деформируются в едином плане, образуя своеобразный "блок". Также в едином плане деформируются Байтыкская впадина и Киргизская мегантиклиналь. Активные в позднем плейстоцене голоцене Иссык-Атинский, Шамсинско-Тюндюкский и Чонкурчакский краевые разломы в поле смещений выражены слабо или движения в их зонах вообще отсутствуют. Это свидетельствует о том, что эти дизъюнктивы обладают импульсным типом движений.

В пределах Восточно-Иссыккульского геодинамического полигона также отмечается явление совместного деформирования структур, на новейшем этапе обладавших разным знаком движений и активно развивавшихся в позднем плейстоцене-голоцене.

Однако, если на Бишкекском полигоне этот процесс продолжается уже длительное время (1971-1991 гг.), то в пределах Восточно-Иссыккульского полигона такое явление было отмечено перед Джаланаш-Тюпским землетрясением 1978 г ($M = 6,5$). Проведенные после землетрясения повторные нивелировки показали, что характер смещений в пределах морфоструктур отвечает вековой тенденции движений.

Имеющиеся данные по измерению современных движений после крупных сейсмических событий позволяют предполагать значительную роль сейсмогенных движений в формировании рельефа Тянь-Шаня. Например, после сильного Джаланаш-Тюпского землетрясения ($M = 6,5$) пригребневая часть хребта Кунгей Ала-Тоо просела на 212 мм, по системе разломов, выкалывающих здесь узкий грабен. Судя по данным П.А.Артушкевича, П.А.Остропико (1986) при подготовке Сарыкамышского землетрясения северный склон хр. Заилийский Алатау поднялся на 60 мм, а после землетрясения - опустился на 45 мм. Таким образом, в процессе подготовки и реализации землетрясения земная кора поднялась на 15 мм.

Кроме того, повторные нивелировки, проведенные в пределах Восточно-Иссыккульского геодинамического полигона показывают, что при сильных землетрясениях могут "оживляться" зоны разломов в фундаменте впадины, перекрытые мощной толщей рыхлых отложений и не выраженные в рельефе.

В целом данные о современных движениях земной коры позволяют уточнить некоторые особенности современной геодинамики Тянь-Шаня. Во-первых, геодезические данные подтверждают наличие именно импульсных движений по многим разломам. Отсутствие постоянного накопления превышений в висячих крыльях Иссык-Атинского, Талдысуйского и некоторых других дизъюнктивов свидетельствует о том, что разрядка напряжений в их зонах происходит в виде сеймотектонических импульсов с образованием остаточных деформаций. Во-вторых, немногочисленные пока данные о горизонтальных движениях земной коры свидетельствуют о значительном тангенциальном сжатии (до 7-25 мм/год в Чуйской впадине).

Выводы к главе II и постановка задач для исследований.

Сейсмическая обстановка в республике Кыргызстан весьма сложная. Сложность анализа геоситуаций обусловлена высокой раздробленностью (блоки и разломы различного ранга), действием на территории республики геодинамических полей планетарного и регионального масштабов. Распространено мнение, что контроль за геоситуациями в региональном масштабе может быть осуществлен с использованием плотной сети наблюдений за различными полями (деформационными, дрогеохимическими, электромагнитными и др.). Однако многочисленные наблюдения аномалий геофизических полей литосферного происхождения, показывают, что они весьма неустойчивы во времени, имеют различную морфологию. Перед рядом сильных землетрясений они не наблюдались вообще или их выделяли только ретроспективно [245]. То есть, среднесрочные аномалии (или "предвестники") обнаруживать в регионе на ограниченном числе станций наблюдения весьма сложно. Кроме того, анализ данных краткосрочных предвестников, показал, что они слабо связаны с очагом готовящегося землетрясения и наблюдаются на расстояниях до 1000 км от очага [245].

Что касается наблюдений электромагнитных полей, то их возмущение происходят, как показывает приведенный выше мониторинг, преимущественно перед землетрясениями. По этому как краткосрочные предвестники они приобретают особую значимость. Причем для каждого региона эти данные должны накапливаться и анализироваться их геотектонические особенности. Учитывая, что создание плотной сети наблюдений из-за финансовых ограничений совершенно нереально, необходимы электромагнитные исследования в локальных точках земной коры и интегральный мониторинг параметров ионосферы. В первом случае может осуществляться локальный мониторинг напряженного состояния в

пределах полигона, во втором случае - мониторинг всего региона. В связи с этим были выбраны следующие направления работ:

1. Создание пунктов наблюдений в сейсмоактивных районах Кыргызстана и проведение на них в комплексе с другими методами, режимных электромагнитных наблюдений методами импульсного и огибающего сигнала ЕИЭМП, электротеллурического поля Земли (ЭТП), напряженности атмосферного электрического поля (АЭП) и изучение концентрации приземного озона (КПО).

2. Проведение маршрутных электромагнитных наблюдений и наблюдений за концентрациями приземного озона, а также нарушения поведенческих реакций живых объектов над разломами и в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений с целью изучения электромагнитных явлений, обусловленных сейсмической активностью, и выбор наиболее чувствительных мест контроля.

3. Проведение осциллографического анализа формы и длительности принимаемых импульсных сигналов ЕИЭМП в зоне разломов с целью выделения сигналов литосферного происхождения.

4. Изучение пространственно-временных закономерностей фоновой интенсивности ЕИЭМП, изменчивости естественных ЭТП во времени для выяснения фона электротеллурического поля района работ, морфологические закономерности изменений напряженности атмосферного электрического поля и концентрации приземного озона.

5. Анализ связи регулярных и нерегулярных изменений фоновой интенсивности электромагнитных параметров (ЕИЭМП, ЭТП, АЭП) с различными геофизическими явлениями (метеофакторами, вариациями геомагнитного поля).

6. Анализ связи аномальных возмущений ЕИЭМП, ЭТП, АЭП с сейсмическими событиями и динамикой земной коры в районе исследований.

7. Комплексных анализ данных наблюдений на территории республики Кыргызстан.

8. Предложения по оптимизации сети геофизических наблюдений, разработка методики использования характеристик вариаций электромагнитных параметров для прогноза землетрясений.

Глава III. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ. МЕТОДИКА СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЯДОВ

Учитывая специфику задач прогноза землетрясений, заключающуюся в отсутствии как общих принципов принятия решений, так и схемы построения наблюдательных систем, можно считать, что в настоящее время решаются в основном задачи поиска достоверных предвестников землетрясений и оптимальных, наблюдательных сетей.

На сейсмопрогностических полигонах Института сейсмологии НАН Кыргызстана осуществляется целый комплекс режимных геофизических наблюдений, в частности магнитных, деформографических, наклономерных, гидрогеодинамических, электротеллурических, электромагнитных. Проводятся детальные сейсмические наблюдения с помощью стационарной и автономной радиотелеметрической сетей наблюдений, при этом обеспечивается получение представленных данных о землетрясениях с энергетическими классами $K > 6$.

В центре полигона (г. Бишкек) установлены и функционируют компьютеры класса “mikrovax” и SUN-3, которые обеспечивают непрерывную систему приема обработки и хранения информационных потоков. Система снабжена поисками прикладных программ (ППП), которые позволяют решить задачи определения параметров очагов землетрясений и скоростных моделей среды.

За исключением электромагнитных (регистрация комплекса параметров импульсной составляющей естественных электромагнитных полей) потребовала решения целого ряда аппаратурно-методических вопросов, связанных как с необходимостью получения стабильных данных, так и с развитием специальных подходов к анализу и интерпретации получаемых временных рядов измеряемых параметров. Результаты исследований в этом направлении и составляют содержание настоящей главы.

§ 3.1. Аппаратура стационарных наблюдений ЕИЭМП методом счета импульсов.

Как указывалось в главе I, на характеристики электромагнитного излучения сейсмического происхождения будут оказывать влияние различные помехи. Для сведения к минимуму естественных или искусственных помех необходимо знать, на каких частотах их уровень минимален.

Попытаемся уточнить рабочие области этого диапазона с точки зрения выбора оптимальных частот для регистрации электромагнитных излучений в естественных условиях.

На рис.3.1.1 приведены амплитудные спектры атмосфериков, зарегистрированных синхронно на различных расстояниях от источника [33, 42, 43, 49]. Минимум спектральной плотности наблюдается на частотах в области 10 - 15 кГц. Очевидно, этот диапазон наиболее благоприятен для регистрации электромагнитного излучения в естественных условиях.

В этом диапазоне частот наиболее благоприятны также условия распространения радиоволн из-за малого коэффициента затухания сигналов (рис.3.1.2), так что при появлении источников излучения сейсмического происхождения условия их регистрации будут также оптимальными.

Для оценки характеристик ЕИЭМП в связи с сейсмичностью могут быть использованы метод счета импульсов или измерения уровня огибающей [193]. В методе счета импульсов избирается относительно высокий уровень дискриминации с целью исключения из анализа помех искусственного и естественного происхождения. Чувствительность приемников по электрической компоненте была порядка 0,01 - 1 В/м. Измерения уровня огибающей проводили при высокой чувствительности приемников порядка 10 мкВ/м. Информационным параметром связи возмущений ЕИЭМП с сейсмическим процессом служили отклонения от регулярного хода огибающей или числа импульсов. В настоящее время трудно оценить преимущества каждого из методов. Нельзя исключить и того, что эти методы могут дополнять друг друга в анализе электромагнитной обстановки, связанной с сейсмическими процессами.

В наших исследованиях использован метод счета импульсов. Для работы по регистрации ЕИЭМП использовалась приемная установка, разработанная в Томском политехническом институте.

При выборе метода учитывались следующие его информативные возможности. Во-первых, изменение состояния ионосферы при сейсмоионосферном воздействии может исказить регулярный ход числа атмосфериков. Во-вторых, метод счета импульсов позволяет определить возбуждение источников излучения сейсмического происхождения как в атмосфере, так и в поверхностных слоях земной коры.

Применяемая в наших исследованиях для измерения интенсивности импульсных электромагнитных сигналов установка 2 - канальная (для измерения в двух направлениях) и обеспечивает прием и счет импульсных сигналов. Чувствительность установки $-2,7 \cdot 10$ А/м ($3 \cdot 10$ нТ).

Принцип действия аппаратуры поясняется блок-схемой (рис. 3.1.3). Установка состоит из следующих узлов: датчика, усилителя,

формирователя импульсов, счетчика импульсов и регистратора (шлейфовый осциллограф).

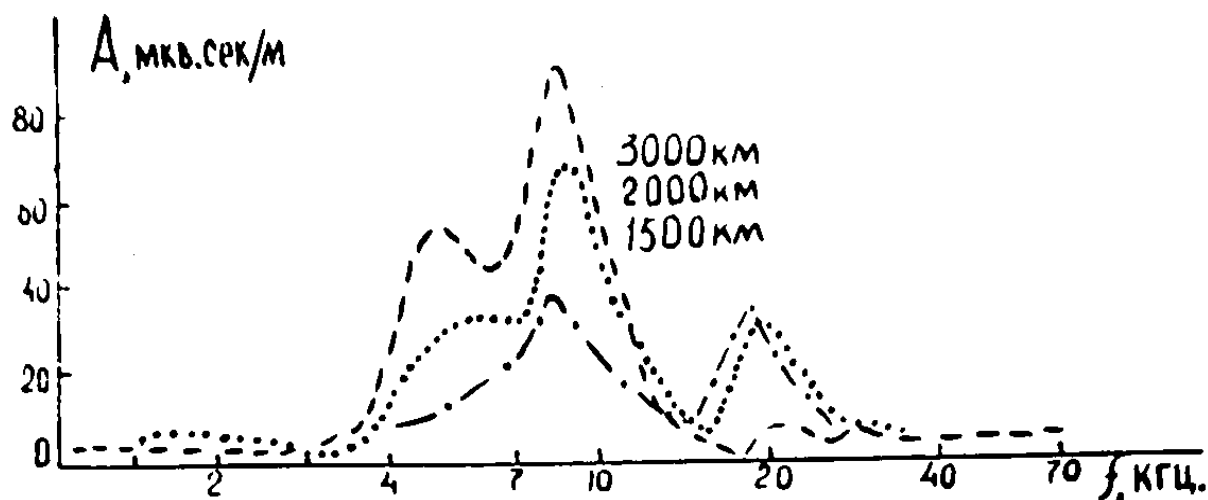


Рис. 3.1.1. Амплитудные спектры атмосфериков на разнесенных пунктах наблюдения (по 14).

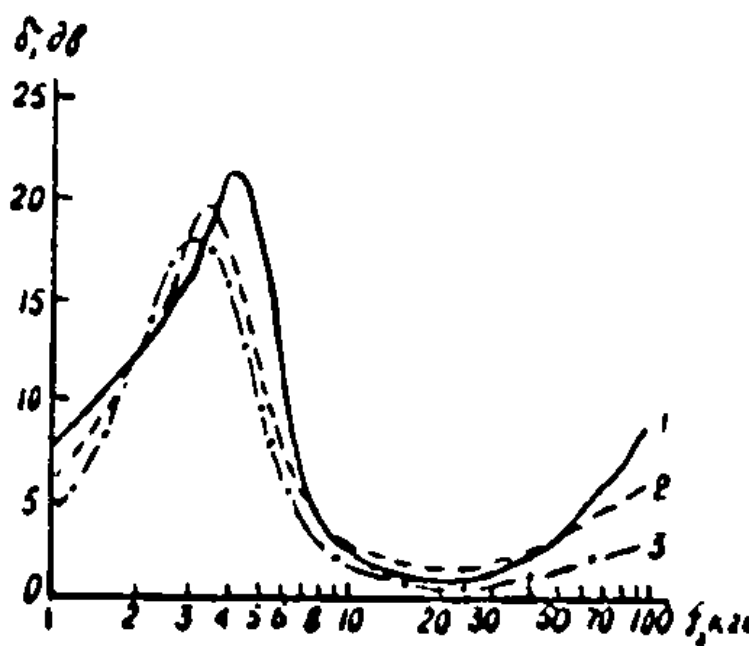


Рис. 3.1.2. Кривые, характеризующие затухание атмосфериков на разных частотах (по Уэйту (13)), в децибелах на 1000 км пути: 1-днем над морем, 2-ночью над сушей, 3-ночью над морем

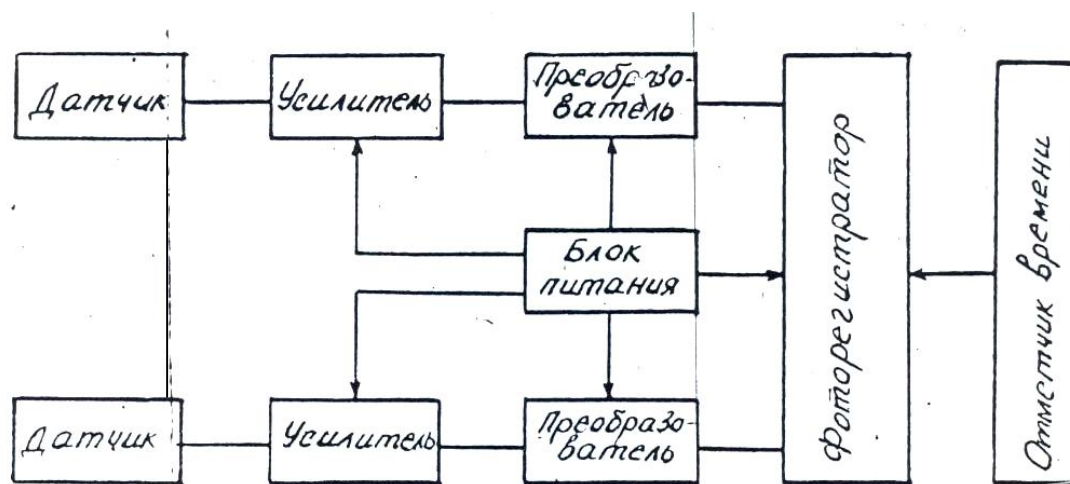


Рис. 3.1.3. Блок-схема регистрирующей аппаратуры

Датчиком является магнитная антенна с ферритовым сердечником длиной 0,5 м, диаметром 0,02 м и числом витков 500; резонансная частота антенны 15 ± 1 КГц. Антенны помещались в сухую почву на глубину 1 м и были ориентированы по направлениям север - юг и запад - восток.

Сигналы с антенны усиливались и подавались на блок преобразователя импульсов. Состав усилителя (рис.3.1.4): высокоомный входной каскад для согласования антенны с усилителем, собранный на микросхеме К284УД1А; усилительный каскад, согласованный со входом преобразователя. Частотная характеристика усилителя перекрывает диапазон $8 \div 50$ кГц. Коэффициент усиления - $K_{ус} = 10^5$. Формирователь-счетчик (рис.3.1.5) обеспечивает преобразование входного сигнала в прямоугольный, необходимый для работы счетчика, и осуществляется счет импульсов (счетчик на 64 импульса).

Счетчик через электронные ключи соединяется со шлейфовым осциллографом. На осциллографе при работе лента протяжного механизма последовательно в виде гистограммы выводятся значения числа импульсов, пропорциональные напряжению на выходных цепочках счетчика. Основным информационным параметром при стационарных наблюдениях ЕИЭМП являлась интенсивность исследуемого поля, показателем которой служило число импульсов в единицу времени, превышающих заданный порог по напряженности поля. Результаты исследований приведены в главе IV, §§ 4.1 - 4.4.

Данный метод хорошо зарекомендовал себя в измерениях, особенно на сигналах превышающих фоновые значения поля и при большой скважности. В последующих работах метод усовершенствован и с успехом применяется в настоящее время [246, 247, 248].

§ 3.2. Аппаратура стационарных наблюдений ЕИЭМП методом огибающей сигнала

Метод счета импульсов превышающих заданный порог дискриминации не позволяет дифференцировать приходящие импульсы по интенсивности. Применение счетчиков с различными порогами существенно усложняет конструкцию. Для метода счета импульсов это ограниченная применимость при регистрации дискретных сигналов с заданным порогом, потеря информации об амплитуде и длительности волнового пакета, а также неконтролируемость ошибки при скважности $q \sim 1$.

В работах [207, 30] было предложено использовать для изучения интенсивности ЕЭМИ метод регистрации огибающих высокочастотного сигнала, который позволил исследовать амплитудно-частотные характеристики сигнала и их эволюции во времени, что позволило получить важные сведения о характере аномального ЕЭМИ непосредственно перед землетрясением [30].

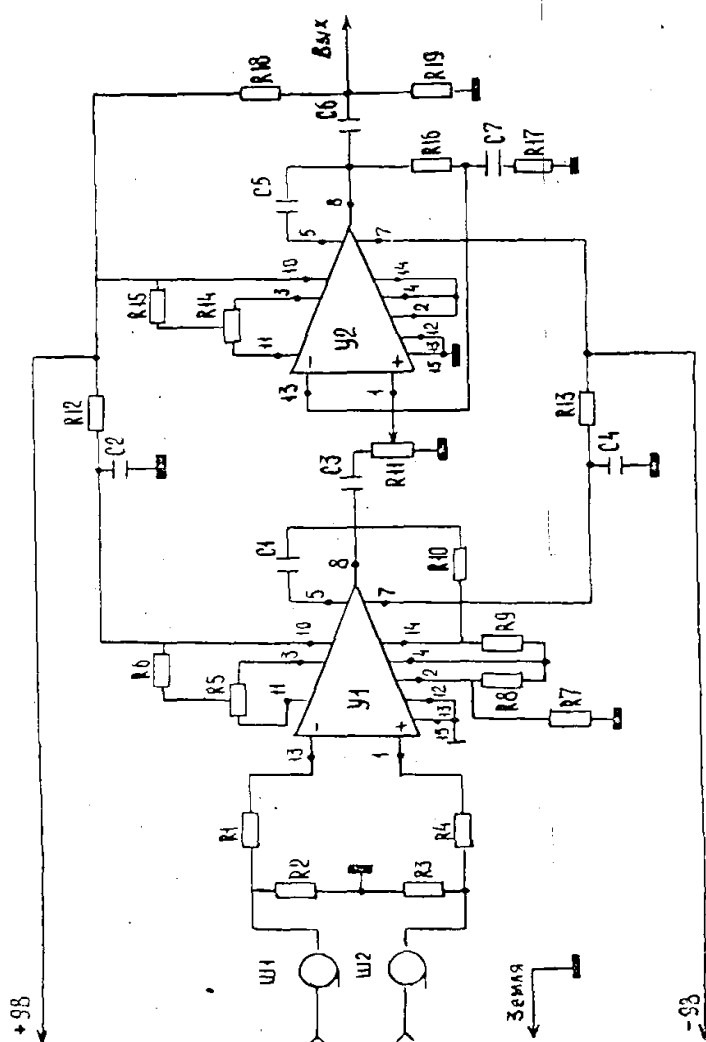


Рис. 3.1.4. Блок усилителя. Схема электрическая принципиальная

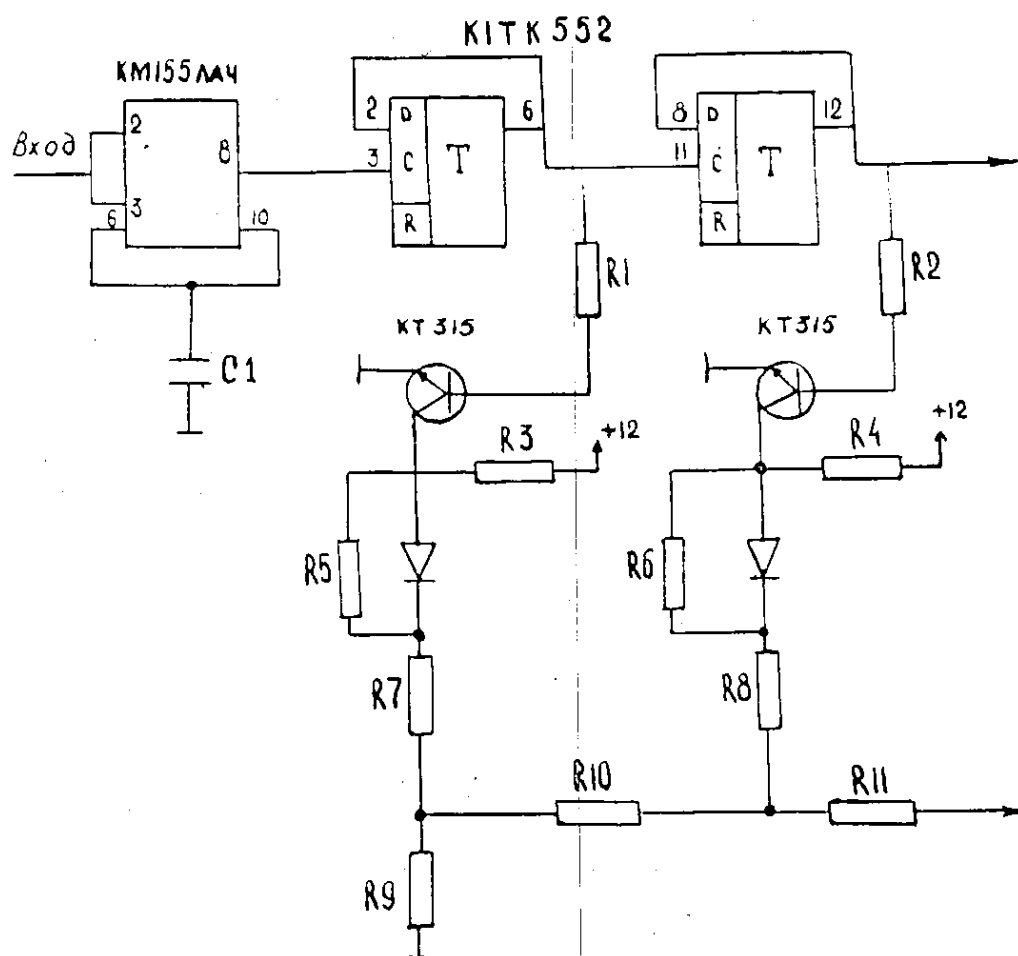


Рис. 3.1.5. Блок преобразователя.
Схема электрическая принципиальная

Отмечая эти методы подчеркнем, что метод огибающей - единственная возможность контроля сигнала при сливающийся последовательности импульсов и получения данных о динамике процесса с учетом его энергетических свойств.

В 1989 году, начиная с марта месяца, организована круглосуточная регистрация интенсивности естественного электромагнитного излучения (ЕИЭМП) в Бишкекском прогностическом полигоне. Наиболее важным на начальном этапе исследований является вопрос о выборе частоты наблюдения. Перед регистрацией ЕИЭМП производился опрос в следующих фиксированных частотах: 11,9; 15,10; 17,44; 17,80; 18,60; 19,60; 22,30 кГц с полосой пропускания сигналов 170 ± 20 кГц с целью нахождения относительно "тихого" диапазона. Каждый канал регистрировался в течение трех дней.

Регистрирующий аппарат имел семь фиксировано настроенных на определенную радиостанцию диапазонов, поэтому нами выбирались

частота с минимальным временем работы радиостанций для данного пункта регистрации. Начало и конец работы радиостанции на ленте самописца отчетливо видны - скачкообразные увеличения и уменьшения напряженности электромагнитного поля. После анализа регистрограмм каждого канала, был выбран диапазон 17,8 КГц.

Диапазон измеряемых напряжений составило от 1 до 1000 мкВ. Пределы измерений: 1-10, 1-30, 1-100, 1-300, 1-1000 мкВ. Уровень шумов регистратора приведенных по входу, не более 0,5 мкВ.

Приемная антенна представляет собой катушку индуктивности с ферритовым сердечником. Добротность приемного контура от 10 до 15. Коэффициент преобразования приемной антенны не менее 30 Вм/А.

Регистратор включает координатор, усилитель высокой частоты (УВЧ), кварцевый гетеродин, сместитель, активный фильтр, детектор со стрелочным индикатором, стабилизатор напряжения. Блок - схема приемника приведена на рис. 3.2.1.

Данные регистрировались на одноканальный самописец НЗ012. Самописцами регистрировалась низкочастотная огибающая, менее 5 Гц сигнала. Измерялась амплитуда вертикальной составляющей H в вертикальной компоненте. Средний уровень принимаемого сигнала при постоянном рабочем диапазоне 1 - 100 мкВ составлял 0,3 - 0,8 шкалы. При коэффициенте преобразования приемной антенны не менее 30 Вм/А принимался сигнал с амплитудой не менее $100 \text{ мкВ} \cdot 0,3/30 \text{ Вм/А} = 100 \cdot 10^{-8} \text{ А/м}$.

Результаты исследований по этой методике приведены в главе IV § 4.5.

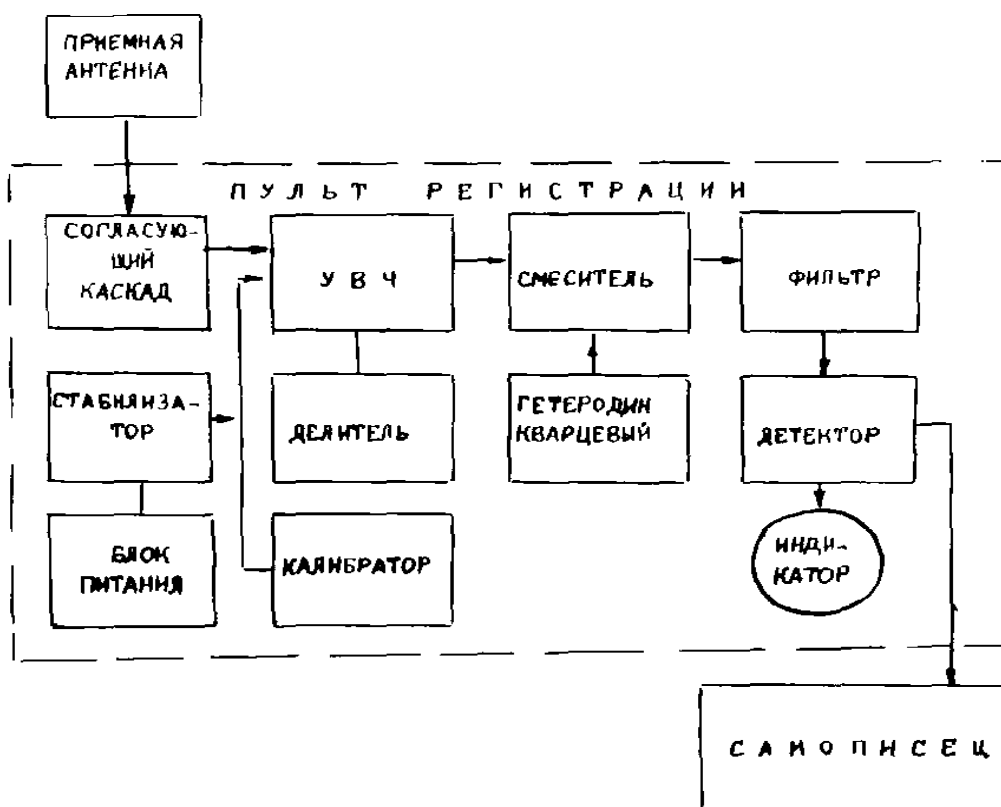


Рис. 3.2.1. Блок-схема приемника

§ 3.3. Методы измерения напряженности атмосферного электрического поля (АЭП)

Методы измерения электрических полей в атмосфере можно условно разделить на три класса:

- 1) метод измерения разности потенциалов между электродами;
- 2) метод измерения заряда, индуцированного измеряемым полем на электроде;
- 3) метод влияния поля на массовое движение заряженных частиц.

К первому классу относятся методы измерения разности потенциалов между двумя точками, расположенными на разной высоте, при этом одна из них, как правило, совпадает с поверхностью Земли. В большинстве случаев потенциалов находят с помощью различного рода коллекторов, которые приобретают потенциал, равный потенциалу среды в заданной точке, т.е. “референцточке”. Измеряя потенциал коллектора можно перейти к напряженности поля. Для выравнивания потенциалов коллектора и среды используют различные механизмы - естественную электропроводность воздуха, перенос заряда с помощью эжекции водяных капель, пламени фитиля или радиоактивные источники. В силу присущих коллекторным методом существенных недостатков, - большая инерционность, высокие требования к изоляции, искажение конфигурации измеряемого поля, - в настоящее время они используются на практике редко. Вопросы теории работы, ошибок измерения и конструктивного

использования коллекторных измерителей напряженности электрического поля (ИНЭП) подробно изложены монографиях [46, 249, 88].

Среди методов измерений АЭП третьего класса в первую очередь следует назвать метод искусственных ионизированных облаков, который основан на эффекте действия электрического и магнитного полей на возмущения в ионосферной и магнитосферной плазмах. На Земле и в тропосфере этот метод не применяется. В настоящее время наиболее распространение получили измерители АЭП, работающие по принципу измерения индуцированного заряда (II-й класс). Основная идея подобных измерителей АЭП заключается в том, что поверхностная плотность индуцированного заряда на поверхности заземленного проводника, экспонированного в измеряемом поле, пропорциональна напряженности поля:

$$\sigma = \sum_0 E$$

Осуществить непрерывную регистрацию. АЭП путем непосредственного измерения индуцированного заряда невозможно, т.к. этот заряд является связанным, и его необходимо “освободить”. Для того, чтобы получить непрерывный сигнал с использованием индуцированного заряда, необходимо периодически экранировать проводник от поля и вновь экспонировать его в поле. В литературе подобные измерители получили название “электростатические флюксометры” [46, 249].

Традиционным конструктивным исполнением флюксометра являются вращающиеся электроды, периодически экранирующие другие электроды, на которых индуцируется переменное напряжение. Датчик ротационного флюксометра преобразует постоянное и медленно меняющееся электрическое поле в переменный электрический сигнал, снимаемый с измерительной пластины посредством периодического экранирования ее при вращении заземленного экрана. Сигнал с измерительной пластины поступает на усилитель, затем на детектор и на регистратор.

Достоинством динамического метода является возможность выделения исследуемого сигнала, соответствующего измерениям АЭП посредством усиления переменного электрического сигнала, частота которого соответствует частоте вращения экрана.

Ротационным флюксометрам присущ также ряд недостатков, сужающих в ряде случаев область их применения. Основной недостаток - необходимость применения скользящего механического контакта для заземления вращающегося экрана, необходимость использования опорного напряжения для определения знака измеряемого поля. Шумы скользящих контактов вынуждают для получения приемлемой чувствительности (порядка 1 В/м), увеличивать размеры измерительных пластин и, соответственно, габариты и массу. Существенным недостатком является

также наличие электродвигателя с относительно большим энергопотреблением и невысоким ресурсом наработки на отказ.

Помимо ротационного, известен также и вибрационный способ модуляции электрического поля [249]. В обзоре [250] на I Всесоюзном симпозиуме по атмосферному электричеству упоминаются вибрационные флюксометры, которым предсказываются большое будущее при измерении электрических полей атмосферы. Практическое использование вибрационных флюксометров началось, по - видимому, со временем публикации патента США № 3611127 [251], в котором описан емкостной вибрирующий измеритель АЭП. В СНГ разработкой вибрационных флюксометров активно занимаются в Новосибирском госуниверситете [252 - 255]. Нами для регистрации АЭП, за основу был взят, так называемый струнный измеритель АЭП [254].

Принцип действия струнного измерителя АЭП поясняет рис.3.3.1. Основу первичного преобразователя составляет модулирующий электрод 1, выполненный в виде металлической ферромагнитной струны или ленты, закрепленной на концах, неподвижный изолированный измерительный электрод 2, электрически соединенный с входным преобразователем 3 “ток - напряжение”, и электромагниты 8 системы возбуждения колебаний модулирующего электрода. При помещении датчика в исследуемое электрическое поле колебаний модулирующего электрода периодически изменяют степень экранирования измерительного электрода, в результате чего на последнем индуцируется переменный электрический заряд.

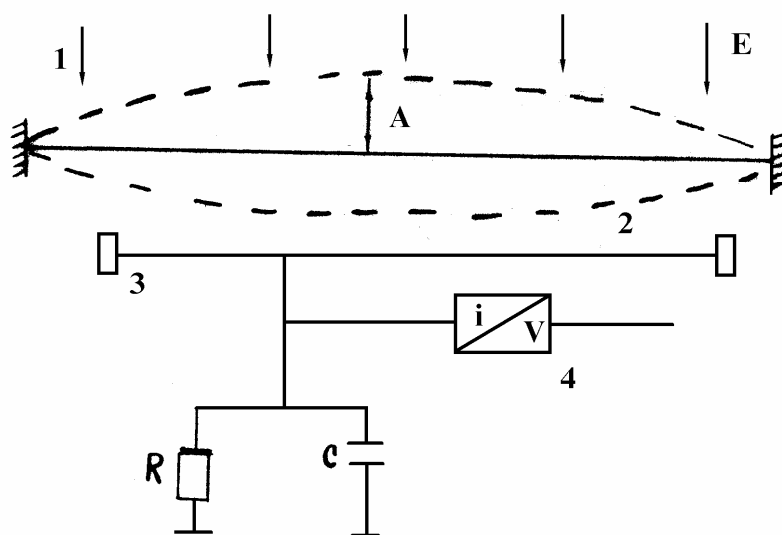


Рис. 3.3.1 Структурная схема измерителя АЭП.

- 1 - модулирующий электрод;
- 2 - измерительный электрод;
- 3 - изолятор;

- 4 - преобразователь “ ток - напряжение ”;
- R - активная часть входного импеданса;
- C - емкостная часть входного импеданса ;
- A - амплитуда колебания моделирующего электрода;
- E - измеряемая напряженность электрического поля.

Этому переменному заряду соответствует переменный ток во входной цепи преобразователя 3, на входе которого образуется переменное напряжение, частота которого равна частоте колебания модулирующего электрода, амплитуда пропорциональна величине измеряемой АЭП, а сдвиг фаз относительно колебаний модулирующего электрода зависит от знака измеряемого поля.

Измеряемое переменное напряжение поступает на усилитель 4 переменного напряжения, который осуществляет основное усиление сигнала на рабочей частоте. Усиленное напряжение поступает на схему синхронного детектора 5, которая служит для определения знака поля. Выходной пульсирующий сигнал сглаживается фильтром 6 низких частот и получается на регистратор. Колебаниями модулирующего электрода управляет система 7 возбуждения колебаний, отличительной особенностью которой является автогенераторный принцип работы, позволяющий поддерживать высокую точность измерений при изменении параметров модулятора в процессе эксплуатации.

Рассмотрим величины зарядов, индуцированные на измерительном электроде:

1) индуцированный на измерительном электроде заряд в отсутствии модулирующего электрода будет равен:

$$Q = k \cdot \varepsilon_0 \cdot E$$

где k- коэффициент, зависящий от формы и размеров измерительного электрода;

2) Индуцированный на измерительном электроде в присутствии неподвижного модулирующего электрода:

$$Q = \frac{K_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot E}{K_2}$$

где k - коэффициент синтантического экранирования, зависящий от формы и размеров модулирующего электрода, а также от взаимного расположения измерительного и модулирующего электродов;

3) индуцированный на измерительном электроде заряд в случае колеблющегося модулирующего электрода:

$$Q = \frac{K_1 \cdot \varepsilon_0 \cdot E}{K_2 (1 + (\frac{A}{L}) \cdot \sin \omega t)}, \quad (3.3.1)$$

где L - некоторый пространственный масштаб, например, расстояние между измерительным электродом и корпусом.

Для системы “ измерительный электрод - модулирующий электрод - выходной импеданс “ можно составить уравнение баланса заряда:

$$\frac{dU}{dt} + \frac{U}{RC} = \frac{1}{RC} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (3.3.2)$$

где U - потенциал измерительного электрода. Переходя от потенциала измерительного электрода к входному току первичного преобразователя и

считая колебания малыми, можно найти решение уравнения 3.3.2 в виде суммы двух составляющих:

$$i = \frac{K_1 \varepsilon_0 \cdot \omega^2 R C A \cdot E}{K_2 \cdot [1 + (\omega/R C)^2]} \cdot \sin \omega t + - \frac{K_1 \varepsilon_0 \cdot \omega A \cdot E}{K_2 \cdot [1 + (\omega R C)^2]} \cdot \cos \omega t$$

В работе [256] показано, что оптимальным является следующее соотношение между частотой ω преобразования и компонентами входного импеданса R и C:

$$\omega R C \ll 1$$

В этом случае величина измеряемого тока пропорциональна амплитуде колебания модулирующего электрода и обратно пропорциональна частоте преобразования. Вместе с тем, как показано в работе [256], амплитуда вынужденных малых колебаний при наличии трения также обратно пропорциональна частоте, т. е. в приближении идеального струнного резонатора и выполнении условия малости колебаний коэффициент преобразования не зависит от частоты преобразования.

Результаты исследований АЭП по этой методике приведены в гл.VI, § 6.1.

§ 3.4. Методика измерения горизонтального и вертикального составляющего электротеллурического поля Земли

К настоящему времени на прогностических полигонах мира накоплен экспериментальный материал, свидетельствующий о возможности использования электротеллурического поля (ЭТП), горизонтальной составляющей, при прогнозе землетрясений (Соболев Г.А., 1975; Vorotsos, Alexopoulos 1987; Kinoshitact al ..., 1989). В работе [257] проведено исследование возможности обнаружения электрокинетического эффекта, вызванного изменениями напряженно-деформированного состояния земной коры перед землетрясениями, по изменениям электротеллурического потенциала. В основание расчетов были положены естественные и весьма общие предложения о возникновении и развитии неоднородностей механических свойств в напряженной земной коре при подготовке землетрясений. Этого было достаточно для построения пространственно-временной картины распределения избыточного порового давления жидкости у поверхности Земли и расчета возможных эффектов в ЭТП. В результате было показано, что градиент давления в горизонтальной плоскости не велик и приводит к сравнительно слабым электрокинетическим эффектам. А в вертикальной плоскости, когда поровая жидкость свободно сообщается с поверхностью, при сравнительно быстрых изменениях объемной деформации возникает большой вертикальный градиент давления вблизи поверхности, что может привести к значительной величине электрического поля.

В результате существует 2 методики измерения ЭТП в связи с проблемой фиксации предвестников землетрясений:

1) при горизонтальном (традиционном) расположении электродов, с учетом неоднородностей в земной коре;

2) при вертикальном расположении электродов, один выше, другой ниже водоносного слоя, в однородной среде.

В первые нами были с сентября 1988 года выполнены измерения ЭТП на разломах и при разломной зонах Кыргызстана по двум существующим методикам.

I.Регистрация ЭТП по традиционному расположению (горизонтальном) расположении электродов проводилась в зоне Ыссык-Атинского разлома в пункте Орок. Выбор пункта обусловлен тем, что разлом является активным, пункт замеров удален от источников промышленных и технологических помех. По геологическим данным, верхняя часть раздела пункта однородна.

Прежде, чем установить электроды произведена съемка раскладки напряжений между выбранными точками потенциальным методом, неполяризующимися электродами типа “Траверс”, которая затем выполнялась ежемесячно для оценки изменчивости потенциала во времени. Неполяризующиеся электроды типа “Траверс” и “Терлит” разработаны М.Б. Богородским, ИЗМИРАН СССР. Съемка раскладки направлений выполнены совместно с сотрудниками ИФЗ АН СССР Богородским М.М., Гирковым Е.Б., Новожиловым Е.В., Богородским В.М. .

Результаты первых и последующих съемок различаются незначительно, максимальное расположение значений для одной точки не более 5 мВ, максимальный потенциал между точками не более 21 мВ. Потенциалы распределяются по всему полю равномерно, что говорит о выдержанности геоэлектрических характеристик верхней части разреза в пределах выбранного нами полигона для регистрации ЭТП.

Для наблюдений за вариациями ЭТП были изготовлены (см. гл.V) электроды из свинцовых пластин. Площадь электродов стремились сделать больше (150×800 мм) исходя из того, что помехи, возникающие на поверхности электродов большей площади, лучше взаимокompенсируются и взаимодействуют со средой. Их установили на висячем крыле разлома вкост его простирания: вдоль разлома - электроды 1 и 3, ориентированные на восток-запад, поперек разлома - 2-4, ориентированные на юг-север. Разнос электродов составляет 200 м, измерения велись по направлениям восток-юг, восток-север, запад-юг, запад-север. Для измерений использовался сначала комбинированный цифровой прибор Щ - 4316 - М1 с чувствительностью 0,01 Мв, аккумуляторным кобелем, а затем аппаратура УЭТП, разработка ИФЗ АН СССР.

Известно, что электродные потенциалы непосредственно входят в измеряемую величину и, следовательно, могут исказить как форму, так и величину аномалии. Непостоянство во времени э.д.с. собственной поляризации электродов может привести к появлению паразитных длиннопериодных возмущений, морфологически подобных аномальным. Таким образом, в совокупности сигналов, регистрируемых с помощью

различных измерительных линий, в некоторых случаях преобладают потенциалы, связанные с процессами поляризации электродов.

Устойчивость этого сигнала во времени имеет двоякую природу. Во-первых, она может быть обусловлена квазипостоянными потенциалами отдельных участков среды. Второй причиной могут быть устойчивые приэлектродные процессы, являющиеся следствием относительной стабильности электрохимических свойств зоны, окружающих электрод. Это означает, что изменения pH среды, солевого состава ее, температурного и водного режимов, кислородной проницаемости и ряда других факторов, ответственные за коррозионную активность почвы, могут вызвать появлению помех.

Очевидно, что применение электродов с устойчивой в течение длительного времени, не менее года, э.д.с. собственной поляризации, консервативной к изменениям физико-химических свойств приэлектродной зоны, существенно снижает “шум” указанной природы. К числу таких датчиков относятся неполяризующиеся электроды типа “Терлит” и “Траверс”, которые использовались в этом эксперименте для контроля за показаниями свинцовых электродов и съемки поля, фильтрации помех и выделения полезного сигнала.

II. Регистрация вариаций вертикального составляющего электротеллурического поля (ЭТП) в зоне активного Ыссык-Атинского разлома.

В соответствии с договором о научно - техническом сотрудничестве с отделом электромагнитных исследований при Министерстве связи и телекоммуникаций Японии, с ноября 1991 года в Кыргызстане организованы непрерывные измерения вертикальной составляющей ЭТП Земли на базе измерительной системы, созданная “TOA Electronics Ltd” and “NF Electronic instruments” в Японии.

Для пункта регистрации режимных наблюдений была выбрана скважина № 1240, пробуренная в непосредственной близости от северной границы зоны Ыссык-Атинского активного разлома, определяющего сейсмичность Чуйского участка Северо-Тяньшанской сейсмогинерирующей зоны (рис. 3.4.1).

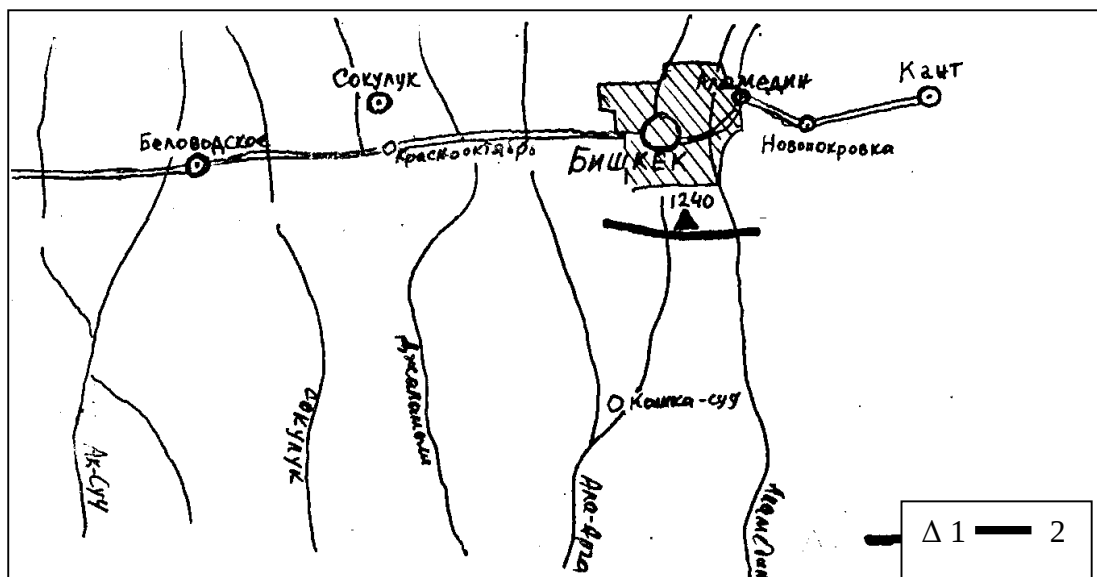


Рис. 3.4.1. Место расположения скв. 1240 (1) и
Иссык-Атинский разлом (2)

Глубина скважины 1200 м. До глубины 750 м скважина проходит в валунно-галечниковых отложениях, с 750 до 960 м - с прослойками песка и суглинков, далее - в конгломератах. Рабочая сеть фильтра установлена на глубине от 1034,3 до 1088 м. Уровень воды в скважине 236 м.

Измерительная система ЭТП состоит из двух электродов: первым из которых является обсадка (стальная штольня) скважины глубиной 1200 м, второй - расположен на глубине 1,5 м вокруг скважины при диаметре круга 20 м с сопротивлением между электродами 100 Ом. Блок - схема станции для регистрации ЭТП показана на рис. 3.4.2 .

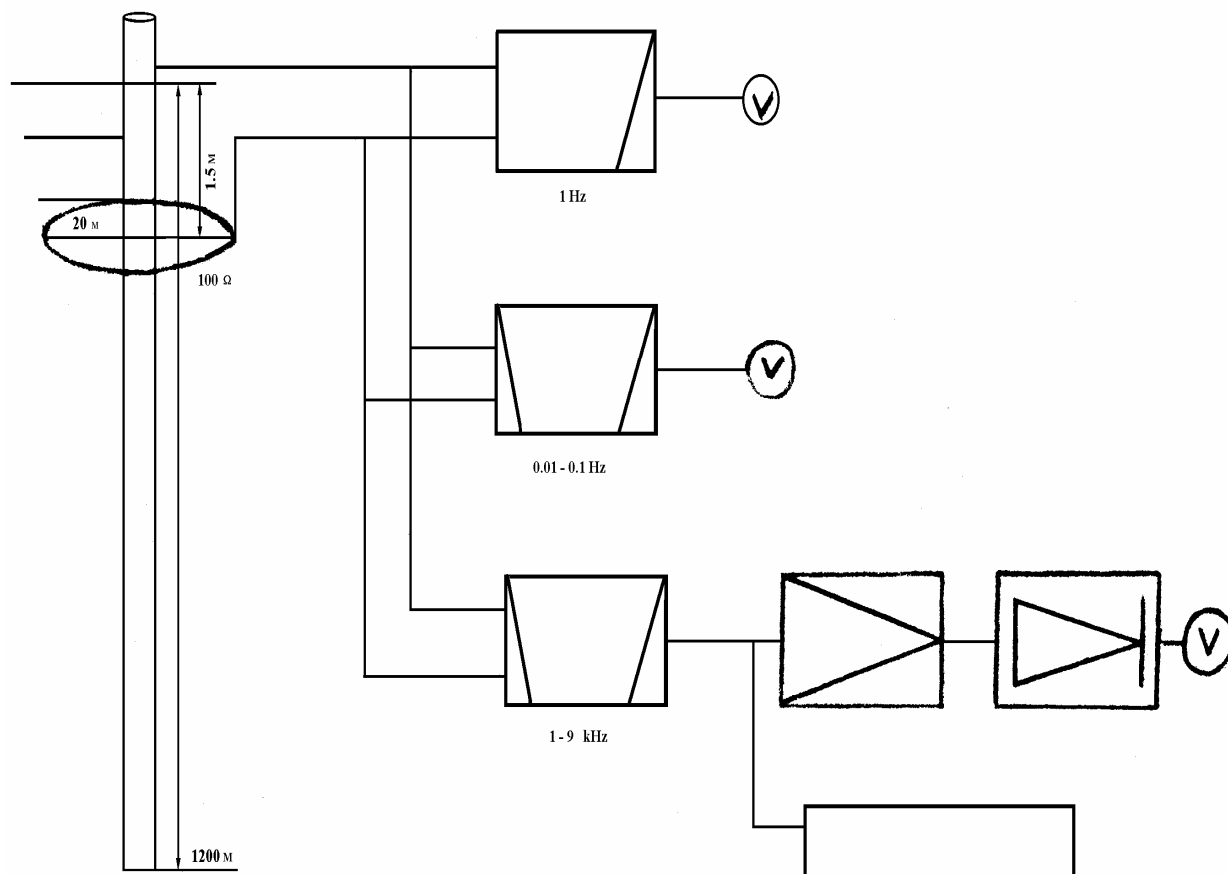


Рис. 3.4.2. Блок-схема станции регистрации ЭТП.

Сигналы с датчика подавались на блок активных фильтров, имеющих частотный диапазон: 0,01 - 0,1 Гц, 1 Гц и 1 - 9 кГц. После фильтрации сигнала, все данные записываются на трехканальный самописец, в реальном масштабе времени, и на временном интервале до 0,5 сек. Система имеет три канала, каждый из которых имеет свой частотный диапазон, таймер для точного времени. На ленте самописца, кроме визуальных записей сигнала, ежедневно записываются цифровые значения сигналов через принтер с указанием точного времени.

Полученные результаты по методике измерения горизонтального и вертикального составляющего электротелурического поля приведены в гл. V, § 5.2.

§ 3.5 Методика и алгоритмы обработки электромагнитных рядов

Достоверность выводов, полученных статистико-вероятностными методами, зависит от качества измеренных данных и способа математической обработки. Если измерение статистических данных, несмотря на определенные трудности может быть получено исследователем с заданной точностью, то метод обработки носит

принципиальный характер. Поскольку в литературе преимущественно излагаются основы того или иного метода обработки, а не их инженерные приложения, то выбор оптимальных способов обработки требует больших временных затрат.

Вопросам обработки временных рядов посвящено достаточное количество работ, например [258-262]. В последние годы широко обсуждаются методы обработки спектральным анализом, которые подробно рассмотрены в работах [260, 261]. Можно привести еще достаточное количество работ, посвященных обработке временных рядов, но все методы преимущественно применимы для решения конкретных специальных задач. В зависимости от вида, наблюдений, целей экспериментирования, особенностей поставленной задачи и парка ЭВМ. Способы анализа имеют специфические особенности.

Основной задачей сейсмопрогнозных наблюдений является изучение механизма колебаний, выбор оптимальных параметров и выявление надежных предвестниковых признаков в вариациях естественных полей. Для этой цели проводят периодические и режимные наблюдения за комплексом сейсмочувствительных параметров естественных полей. В них присутствуют фоновые регулярные и нерегулярные составляющие, обусловленные различными геофизическими источниками. Эти ряды, как правило, имеют пропуски, связанные с различными причинами, ошибки измерений, помехи и т.д. Поэтому для обработки этих рядов необходим комплекс методов, способный восстанавливать пропуски, производить выборку, синтез дискретных рядов, фильтрацию фона и др., т. е. необходим пакет алгоритмов и соответствующих программ.

Сам сейсмический процесс также не однороден во времени и пространстве. Землетрясения происходят на различных удалениях и глубинах с уникальными геолого-геофизическими условиями. Реакция различных полей также имеет индивидуальные особенности. Поэтому накопление статистического ряда сейсмичности носит условный характер. В то же время, несмотря на уникальность, процесс подготовки происходит согласно общих физических явлений. Поэтому в ходе проявления предвестника должна проявляться некоторая общая тенденция. Выявление этой тенденции дает обобщенную функцию предвестника.

$$\Phi(t) = \gamma \cdot f(M; R; T; H) \quad (3.5-1)$$

где M - магнитуда землетрясения,

H - глубина гипоцентра,

R - эпицентральное расстояние,

T - время аномалий,

γ - константа, зависящая от геолого-геофизических условий очага, пункта землетрясения и чувствительности метода.

Производя выборку землетрясений с одинаковыми M , H , R , можно эмпирически вычислить $\Phi(t)$.

На геодинамических полигонах Кыргызстана гипоцентры землетрясений расположены в земной коре. Поэтому флуктуациями H можно пренебречь.

Эпицентральное расстояние, на котором уверенно может быть зарегистрирован предвестник землетрясения, зависит от величины аномальных деформаций, т. е. M . Поскольку наибольшие деформации наблюдаются в очаговой области и с удалением от него падают, соответственно должны изменяться и аномалии естественных полей.

Существует ряд способов задания R в зависимости от M при составлении выборки однородного ряда сейсмических данных. В работе [205] зона проявления предвестника ограничивается областью ее подготовки, определяемой окружностью радиусом экспоненциально зависящим от магнитуды $R=e^M$. В работе [263], для определения радиусов концентрических зон однородного проявления предвестника, предлагается использовать расстояния, кратного характерным размерам очага n_l , пропорциональным энергетическому классу ожидаемого землетрясения.

Способ задания пространственно-временных характеристик хода аномальных деформаций в зависимости от энергии готовящегося землетрясения предложен В. И. Уломовым [264]. Предвестниковые деформации на основе четырех стадийной модели подготовки землетрясения, задаются в виде экспоненциальных синтетических прогностических кривых (СКП). Основным достоинством СПК является то, что функция аномального хода задается через R , M , T . В то же время поиск реального экспериментального ряда естественного поля сравнивается с некоторой кривой, вычисленной на основе модельных представлений.

В настоящее время практически отсутствуют модельные методы задания статистического ряда, характеризующего процесс реализации заключительного этапа подготовки сейсмического события с достаточным временным разрешением.

Приведенные толкования справедливы для геофизических полей прямо связанных с величиной аномальных деформаций. Вторичные электромагнитные или ионосферные эффекты дополнительно будут зависеть от электрофизических свойств района, условий распространения сигнала и внешних факторов, учет которых представляется обязательным.

Следует ожидать также пространственную анизотропию деформаций и стимулированных ими аномальных дефектов. Согласно [265] разрушение пород происходит тонкой (плоской) зоне быстрым скольжением и пластическим течением. Естественно, эта зона обладает аномальными физическими свойствами и может быть стимулятором аномальных электромагнитных явлений.

3.5.1 Алгоритмы предварительной обработки

3.5.1.1. Поиск грубых ошибок.

В анализируемом ряду могут существовать грубые ошибки, например, за счет измерения, оцифровки, табулирования вычислений и т.п. Если распределение уровней рядов подчиняется нормальному закону, то в интервале $\bar{x} \pm 3\sigma$, где σ - среднеквадратичное отклонение, лежит 88,7% всех уровней динамического ряда. Значения временного ряда не удовлетворяющие условию

$$\bar{x} - 3\sigma < x < \bar{x} + 3\sigma$$

можно рассматривать как грубые ошибки. Указанное условие можно переписать в виде

$$-3\sigma < x_i - \bar{x} < 3\sigma$$

3.5.1.2. Интерполяция.

Экспериментальные ряды наблюдений могут иметь пропуски по техническим или другим причинам. Единичные пропуски могут быть проинтерполированы средним арифметическим:

$$x_i = (x_{i-1} + x_{i+1}) / 2$$

либо интерполяционными функциями Лагранжа. При значительных пропусках интерполяцию можно производить на основании следующих соображений.

Любую не периодичную функцию можно рассматривать как сумму гармонических составляющих с соответствующими амплитудами, частотами и фазами. Фурье преобразование дискретного ряда записывается в виде:

$$x(t) = A_0 + \sum_{m=1}^{n-1} A_m \cos(2\pi m f t + \varphi_m) + A_n \cos 2\pi n f t \quad (3.5-2)$$

где $m = 0, 1, 2, \dots, n$ - номер гармоники

$f = 1/N$ - основная частота

$$x = R_m e^{j\varphi_m} = A_m + jB_m; \quad R_m = \sqrt{A_m^2 + B_m^2}; \quad \varphi = \arctg(-B_m/A_m) \quad (3.5-3)$$

Зная коэффициенты A_m и B_m , можно восстановить значения ряда, на основании следующего алгоритма [266].

1. Анализируется ряд, определяется количество пропусков.
2. В случае нескольких пропусков производится проверка на наличие непрерывного ряда, измерений чисел до “ пробелов ” .
3. При выполнении условия 2 этот отрезок времени разлагается в ряд методом БПФ.
4. Определяются коэффициенты разложения A , B .
5. Экстраполируются пропущенные значения на основе тригонометрического ряда.

Проверка нормальности распределения стационарного ряда.

При поиске связи между различными физическим рядами очень часто в реализации двух сравниваемых явлений может присутствовать общий тренд, обусловленный третьим источником. Присутствие трендов может привести к ложной корреляции или маскировать существующую связь. Поэтому необходимо перед анализом детерминированный ряд подводить к стационарному и проверить нормальность распределения. В то же время практически невозможно подавить тренд без заметного искажения случайной компоненты. В этом случае строгие критерии не применимы. В работе [262] рассмотрены критерии проверки нормальности распределения приемлемые к геофизическим рядам.

Выведем условие нормальности, основываясь на толкованиях [262]. Если нормированная функция y' имеет нормальное распределение, площадь распределения выражается функцией

$$f(t) = \Phi(t) + \frac{\gamma_1}{3!} \Phi^{(3)}(t) + \frac{\gamma_2}{4!} \Phi^{(4)}(t) \quad (3.5-4)$$

где $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$ - функция нормального распределения

$\Phi^3(t)$, $\Phi^4(t)$ - третья и четвертая производные

γ_1 и γ_2 - коэффициенты асимметрии и эксцесса

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{\sum (y_t - \bar{y})^3 / N}{(\sqrt{\sum (y_t - \bar{y})^2 / N})^3}; \quad \gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} = \frac{\sum (y_t - \bar{y})^4 / N}{(\sqrt{\sum (y_t - \bar{y})^2 / N})^4};$$

Для центрированных рядов

$\sum y_t = 0$, тогда:

$$\gamma \approx \sum y_t^3 / N (\sqrt{\sum y_t^2 / N})^3$$

При малых значениях γ_1 и γ_2 , $f(t) \rightarrow \Phi(t)$

Критерием обобщенно - нормального распределения нормированной случайной величины $y' = (y_t - \bar{y}) / \sigma$

являются условия:

$$1. \int f(t) dt = 1. \quad 2. f(t) \geq 0 \text{ при } -\infty \leq t \leq +\infty$$

Первое условие выполнимо при любых $f(t)$? второе условие выполняется только при:

$$-1.0518 \leq \gamma_1 \leq 1.0518; \quad 0 \leq \gamma_2 \leq 4$$

что и является условием обобщенно- нормального распределения.

Если исследуемый ряд состоит из случайных величин, то должно выполняться условие:

$$K_{\max} < [3 / 3(\lg N + 1)]; \quad u > [\frac{1}{2}(N + 1 - 1 / 96\sqrt{N - 1})]$$

где N- число уровней ряда,

$K_{\max}$ - длин наибольшей серии значений больших и меньших медиан,

v - число серий.

Другим критерием стационарности ряда, с вероятностью 85%, согласно [262] является неравенство $\rho < \bar{\rho} - 1 / 96\sigma_{\rho}$, $\rho = 2(N - 2) / 3$;

$\bar{\rho}$ - математическое ожидание числа точек поворота

σ_{ρ} - дисперсия точек поворота.

Точки поворота определяются из условия:

$$y_{t-1} < y_t > y_{t+1}; \quad y_{t-1} > y_t < y_{t+1}$$

Проверку нормальности распределения и стационарности ряда можно производить на основе следующего алгоритма:

1. Вводится исследуемый массив и вычисляется среднеарифметическая ряда $\bar{y}$.

2. Определяются отклонения $\Delta y = y_t - \bar{y}$; Δy^2 ; Δy^3 ; Δy^4 .

3. Находят их суммы.

4. Вычисляются γ_1 и γ_2 , которые затем проверяется по условию: $|\gamma_1| \leq +1.0518$; $0 \leq 2 \leq 4$.

5. Определяется число точек поворота.

6. Вычисляется $1.96\sigma_{\rho}$ и проверяется условие $\rho = \bar{\rho} - 1.96\sigma_{\rho}$.

3.5.1.4 Алгоритмы фильтрации.

Ряды геофизических наблюдений могут быть представлены в виде нестационарного ряда:

$$X(t) = P(t) + C(t) \quad (3.5-5)$$

где P(t) - регулярная компонента,

C(t) - случайная компонента.

Периодическая компонента может состоять из суточного, сезонного и II-летнего циклических низкочастотных трендов.

$$P(t) = P_{\text{цикл}} + P_{\text{сезон}} + P_{\text{сут}}$$

Для целей поиска краткосрочных и оперативных предвестников землетрясения II- летним циклическим трендом можно пренебречь.

Суточная и сезонная компонента являются помехами для рассматриваемой задачи, поскольку полезная информация видимо находится в этой области спектра. При такой ситуации методом фильтрации регулярной компоненты непрерывных рядов является метод отклонений от скользящей медианы.

$$x_i = (x_i - \overline{x_i}) / x_i \quad (3.5-6)$$

Представим ряд наблюдений в виде матрицы:

$$\begin{vmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \dots & x_{n,m} \end{vmatrix} \quad (3.5-$$

7)

Потребуем, чтобы m соответствовало количеству наблюдений за полные сутки, а n количеству суток наблюдений. Если интервал наблюдений составляет один час, то данная матрица соответствует месячной таблице часовых значений. Тогда $m = 24$, $n = 28 \div 31$. В принципе m, n могут быть любыми. При затребованных условиях, в вариациях уровней строки будет присутствовать низкочастотный (НЧ) тренд, обусловленный суточным ходом, а столбца - сезонным ходом.

Если каждые сутки вычислять функцию суточного тренда и вычитать её из исходного ряда, мы получим ряд отклонений Δ , отфильтрованных от НЧ - суточной компоненты.

Поскольку функция суточного тренда подвержена сезонным изменениям, необходимо функцию суточного тренда вычислять каждые сутки отдельно с учетом сезонной компоненты. Для ее вычисления определяется медианное значение уровней каждого столбца ряда из n . Уровни столбца матрицы $x_{1,1}, x_{2,1}, \dots, x_{n,1}$, соответствующие каждому часу суток сортируют по возрастанию или убыванию. Медиана будет соответствовать среднему арифметическому двух срединных членов ряда. m - медианных уровней срединной строки является функцией тренда этой строки. Для получения функции тренда следующей строки ряд $x_{1,1}, x_{2,1}, \dots, x_{n,1}$, отбрасывается и вводится ряд $x_{n+1,1}, \dots, x_{n+1,m}$.

Процесс подсчета медиан повторяется. В итоге мы получаем матрицу медианных уровней - $\overline{x_i}$:

Обычно n выбирается нечетным, т.е. $n=2k+1$, тогда k крайних членов ряда отбрасывается. Вычитая из исходный матрицы полученную матрицу

медианных уровней $\overline{x(t)}$, мы получаем ряд отклонений Δ , свободных от суточной и сезонной компоненты.

Для решения ряда задач, например, поиска среднесрочных предвестников землетрясений, устранение сезонной компоненты не желательно, поскольку период краткосрочных предвестников соизмерим с периодом сезонного тренда. В этом случае необходимо сокращать длину ряда - m .

3.5.1.5. Спектральный анализ

Спектральный анализ позволит определить скорость и движение отдельных частотных составляющих. Он особенно перспективен при изучении волновых явлений. Сущность метода заключается в определении основных гармонических составляющих случайного процесса путем разложения (дисперсии) процесса по различным частотам.

1. Автоспектр. Согласно [262] временного ряда в ограниченном временном интервале $-T/2 \leq t \leq T/2$ можно представить суммой гармоник основной частоты $f=1/T$.

$$s_x^2 = \sum_{m=-\infty}^{\infty} |x_m|^2 \quad (3.5-8)$$

Комплексная амплитуда гармоники $f_m=m/T$ задана выражением

$$X_m = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_t e^{-j2\pi m t / T} dt \quad (3.5 - 9)$$

Для рядов конечной длины со случайными: амплитудой, частотой и фазой, выборочный спектр:

$$S_{xx}(f) = \int_{-T}^T C_{xx}(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (-\infty \leq f \leq \infty) \quad (3.5-10)$$

$$C_{xx}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(f) e^{j2\pi f t} df \quad (-T \leq t \leq T) \quad (3.5-11)$$

Эти выражения получены из прямого и обратного преобразования Фурье $S_{xx}(f)$ и ковариационной функции

$$C_{xx}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T [x_t - \bar{x}][x_{t+\tau} - \bar{x}] dt \quad (3.5-12)$$

Обычно экспериментальный ряд представляется в дискретной форме с интервалом Δ . Тогда выборочный спектр и выборочная ковариационная оценка записываются в виде

$$S_{xx}(f) = \Delta \sum_{-(\tau_m-1)}^{\tau_m} C_{xx}(\tau) e^{-j2\pi f t \Delta} \quad (3.5-13)$$

$$C_{xx}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_1^{N-\tau} (x_t - \bar{x})(x_{t+\tau} - \bar{x}) \quad (3.5-14)$$

где $\tau_m = N-1$ - максимальное запаздывание ковариационной функции
 N - длина ряда

$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_1^N x_t$ - выборочное среднее ряда

В силу действительности реальных временных рядов, при его разложении мнимая часть выражения, содержащая синусы в $e^{-j2\pi f t \Delta}$ пропадает.

Тогда:

$$S_{xx}(f) = 2\Delta [C_{xx}(0) + 2 \sum C_{xx}(t) \cos 2\pi f t \Delta] \quad (3.5-15)$$

Поскольку $S_{xx}(f)$ - функция четная и вычисления производятся для частного интервала $0 \leq f \leq 1/2\Delta$, в последней формуле появляется множитель 2.

Известно, что увеличение реализации случайного процесса не приводит к улучшению выборочной оценки спектра [267]. Улучшение оценки спектра можно получить проводя спектральное усреднение. Спектральное усреднение эквивалентно умножению ковариационной функции на корреляционное окно $\lambda(\tau)$.

Корреляционные и спектральные окна можно задавать функцией Тьюки-Ханнинга:

$$l(\tau) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos \left(\frac{\tau}{\tau_m} \right) \right] \quad \text{при } |\tau| \leq \tau_m \quad (3.5-16)$$

функцией Батлетта:

$$l(\tau) = 1 - \frac{|\tau|}{\tau_m} \quad \text{при } |\tau| \leq \tau_m \quad (3.5-17)$$

функцией Парзена

$$l(t) = \begin{cases} 1 - 6 \left(\frac{\tau}{\tau_m} \right)^2 + 6 \left(\frac{|\tau|}{\tau_m} \right)^3 & \text{при } |\tau| < \frac{\tau_m}{2} \\ 2 \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_m} \right) & \frac{\tau_m}{2} < |\tau| \leq \tau_m \end{cases} \quad (3.5-17)$$

Во всех случаях при $|\tau| > \tau_m$; $\lambda(\tau)=0$

Использование корреляционных окон позволяет получить сглаженные выборочные спектральные оценки:

$$W(f) = \frac{3}{4} \tau_m \left(\frac{\sin \pi f \tau_m / 2}{\pi f \tau_m / 2} \right)^2 \quad [-\infty \leq f \leq \infty] \quad (3.5-18)$$

На основе преобразования Фурье от корреляционного окна можно перейти к спектральному окну:

$$W(f) = \frac{3}{4} \tau_m \left(\frac{\sin(\pi f \tau_m / 2)}{\pi f \tau_m / 2} \right)^4 \quad [-\infty \leq f \leq \infty] \quad (3.5-19)$$

Основным критерием при выборе корреляционных окон является уровень боковых лепестков, который имеет соответствующее спектральное окно.

Окна Тьюки - Ханнинга и Парзена обеспечивают минимальную дисперсию сглаженных значений $\tilde{\delta}_{xx}(f)$. Следовательно, минимальную утечку мощности из одной оценки в другую для не соседних частотных полос. При использовании окна Тьюки - Ханнинга возможно появление отрицательных значений спектра, что порой нежелательно. В этом случае отрицательные значения нужно заменить нулем.

2. Кросс - спектр. Спектральный анализ можно применить и к двумерным рядам. Если имеем два ограниченных во времени ряда x_t , y_t , выборочный (кросс) спектр $\tilde{\delta}_{xy}(f)$ определяется как Фурье преобразование от выборочной взаимной корреляционной функции $C_{xy}(\tau)$. Блок-схема кросс спектрального анализа произведен на основе формул [262] и рекомендаций [268].

3.5.1.6 Корреляционный анализ.

Целью корреляционный анализ является оценка наличия и тесноты связи между динамическими рядами двух явлений. Для оценки тесноты линейной связи используется коэффициент корреляции

$$k = (\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}) / \sigma_x \sigma_y \quad (3.5-20)$$

При этом может быть $-1 \leq k \leq 1$. Знак (-) указывает на обратную связь. Считается, что если: $k=0.2$ - связь слабая, $k = 0.2 - 0.4$ - связь удовлетворительная, $k=0.4 - 0.6$ - связь средняя, $k = 0.6 - 0.8$ - связь тесная (хорошая), $k = 0.8 - 1.0$ - связь сильная.

Степень связи дополнительно можно оценить коэффициент детерминации $d=k^2$, которая показывает долю вариации результатного показателя, связанную с вариацией факторного показателя.

Часто корреляция между исследуемым явлениями может быть сдвинута на определенный отрезок времени, т.е. имеет место фактор

запаздывания корреляция на τ единиц времени. В этом случае коэффициент корреляции вычисляется с учетом τ .

$$k(\tau) = \frac{\sum_{t=1}^M x_t y_{t+\tau} - \sum_{t=1}^M y_t \sum_{t=1}^M x_{t+\tau}}{\sqrt{\left[\sum_{t=1}^M y_t^2 - \left(\sum_{t=1}^M y_t \right)^2 \right]} \sqrt{\left[\sum_{t=1}^M x_{t+\tau}^2 - \left(\sum_{t=1}^M x_{t+\tau} \right)^2 \right]}} \quad (3.5-21)$$

где $M=N-\tau$; N - длина интервала.

Для рядов отклонений от тенденции $\sum_{t=1}^N \Delta x_t = 0$

$$k(\tau) = \sum_{t=1}^M x_t y_{t+\tau} \sqrt{y_t^2 \sum_{t=1}^M x_{t+\tau}^2} \quad (3.5-22)$$

Который можно вычислить согласно следующего алгоритма:

1. Вычисляются отклонения рядов x_t от тренда $\bar{x}(t)$.
2. То же самое для y_t .
3. Определяются квадраты x_t^2 , находятся $\sum$.
4. Определяются квадраты y_t^2 , находятся $\sum$.
5. Вычисляется $\sum x_t y_t$
6. Вычисляется $\sum k(\tau)$.
7. Сдвигается один ряд на τ единицу
8. Выполняются пункты 3,4,5.
9. Вычисляются $k(\tau)$.

Задаваясь различными τ , можно определить время запаздывания передачи информации от одного ряда к другому по пику коэффициента корреляции.

Выводы к главе III.

1. Приводятся технические характеристики установки для измерения параметров естественных электромагнитных полей.

2. Установки для измерения горизонтальной и вертикальной составляющей электротеллурического поля разработаны при участии автора и опробованы в полевых условиях применением различные варианты приемных электродов.

3. На основе анализа известных сведений по регистрации АЭП, в качестве оптимальным выбраны вибрационный способ модуляции АЭП т.е., так называемый струнный измеритель АЭП.

4. Подобран и модифицирован пакет алгоритмов для обработки геофизических рядов включений:

- поиск грубых ошибок
- интерполяцию, заполнение пропусков
- синтез дискретных рядов

-спектральный, корреляционный, регрессионный анализ.

5. Показано соответствие использованных средств и методик, пакет системных и прикладных программ для вычислений требованиям этапа исследований.

Глава IV. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕИЭМП В СЕЙСМОАКТИВНЫХ ЗОНАХ КЫРГЫЗСТАНА

4.1 Регулярные вариации фоновой интенсивности ЕИЭМП

Для надежного выделения вариаций ЕИЭМП сеймотектонического происхождения большое значение имеет знание закономерностей и причин вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП. Поэтому анализу связи аномалий ЕИЭМП с сейсмичностью предшествовало тщательное изучение характера вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП и их сопоставление с другими геофизическими явлениями, которые могут влиять на регулярные вариации ЕИЭМП (метеорологические факторы, вариации геомагнитного поля и др.).

Вариации фоновой интенсивности ЕИЭМП по материалам стационарных наблюдений в двух пунктах, расположенных в восточной части Иссык-Кульской впадины в 60 км друг от друга, - в г. Пржевальске (ныне - г. Каракол) и пос. Соколовка Ак - Суйского района. Более длинный ряд наблюдений (1.1978 -12.1981 гг.) был получен в Пржевальске, поэтому для анализа временных вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП использованы в основном материалы наблюдений на этой станции.

Основой для анализа регулярных вариаций ЕИЭМП служили рассчитанные на ПЭВМ среднечасовые значения интенсивности потока импульсов (число импульсов в 1 час), усредненные по каждому месяцу наблюдений для обеих составляющих поля, а также дисперсия или среднеквадратичное отклонение от этих значений. Из обработки были исключены дни с местными грозами и пургой (см. приложение 1), а также дни с сейсмической активностью (см. таблицу 4.3.1). Для анализа сезонных изменений ЕИЭМП были рассчитаны на ПЭВМ также среднемесячные значения интенсивности потока импульсов.

Сопоставление результатов синхронной регистрации ЕИЭМП в двух пунктах показало близкое подобие в изменении формы и амплитуд вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП как для отдельных дней , так

и для осредненных за месяц суточного хода ЕИЭМП, что свидетельствует о хорошей репрезентативности результатов наблюдений. Это иллюстрируется сопоставлением среднемесячных суточного хода ЕИЭМП, а также сопоставлением суточного хода за отдельные дни, предшествующие сейсмическим событиям.

Суточные вариации ЕИЭМП. Характер суточных вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП анализировался по графикам среднемесячного суточного хода, построенных по местному времени и для 4-летнего интервала наблюдений в Пржевальске и 2-летнего - в пос. Соколовка. В качестве примера на рис. 4.1.1. приведены графики среднемесячного суточного хода со среднеквадратичным отклонением за первое полугодие 1980 года для этих двух пунктов по обеим составляющим поля.

Анализ графиков среднемесячного суточного хода показал, что суточные вариации фоновой интенсивности ЕИЭМП проявляются во все времена года, но их форма и амплитуда подвержены сезонным изменениям.

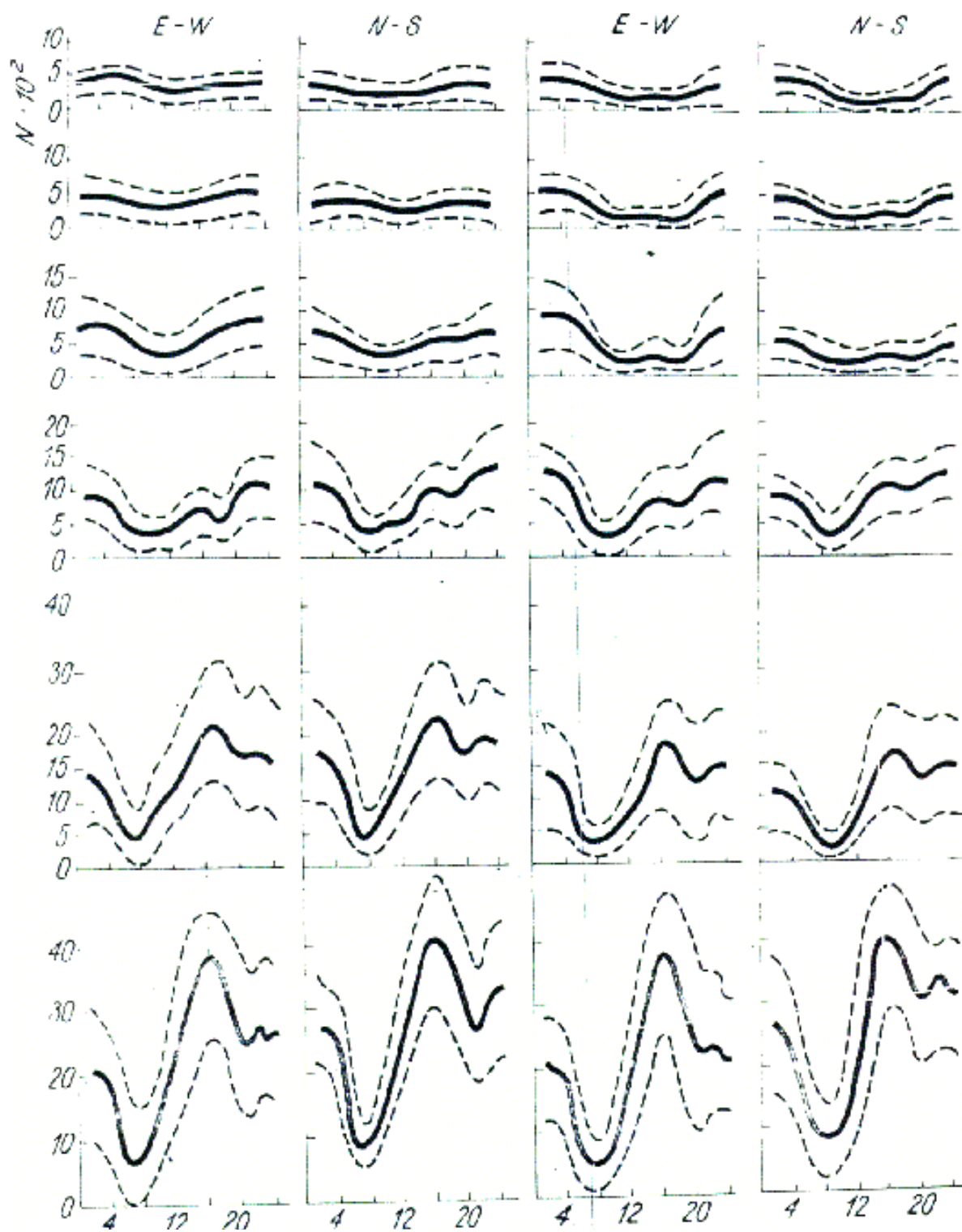
Форма суточного хода в зимние месяцы более сглажена и не имеет четко выраженных закономерностей. Намечается ночной максимум после полуночи и минимум в светлое время суток (9-16 час.). При переходе к весенне-летнему сезону форма суточного хода изменяется и характеризуется наличием двух максимумов - послеполуденного (16час) и ночного. Минимум интенсивности ЕИЭМП приходится на утренние часы (7-8). В летние месяцы послеполуденный максимум становится интенсивнее ночного. При переходе к осенне-зимнему сезону послеполуденный максимум становится менее интенсивным и постепенно исчезает.

Амплитуды суточных вариаций наибольшие летом и наименьшие в зимние месяцы. В весенние и осенние месяцы они примерно одинаковы и являются средними между летними и зимними значениями. Летние значения интенсивности ЕИЭМП достигают 4500-6000 имп/час, а зимой они примерно на порядок ниже. От года к году амплитуды интенсивности ЕИЭМП суточных вариаций в соответствующие сезоны могут меняться довольно значительно. Характер изменения формы и амплитуд по двум составляющим поля, как следует из приведенных графиков суточного хода ЕИЭМП, практически идентичен.

Среднеквадратичное отклонение (дисперсия) σ от среднемесячного суточного хода составляет в среднем около 30%. Если принять эту величину σ за колебания уровня фона ЕИЭМП, то считать аномалиями следует отклонения от среднемесячного хода, равные 2-3 σ . На рис.4.1.2. приведены графики суточного хода по двум составляющим поля, усредненные за 4 года для февраля-июля месяцев для станции Пржевальск. На них отчетливее прослеживаются перечисленные выше особенности

сезонных изменений суточного хода ЕИЭМП.

Сопоставление формы суточного хода ЕИЭМП в г. Пржевальске с соответствующими данными наблюдений в Узбекистане [64] и на Камчатке [71], (рис.4.1.3.,4.1.4) обнаруживает большое сходство между ними, несмотря на существенную разницу в геологическом строении этих районов и их удаленность от Пржевальска на большие расстояния (700 и 4800 км соответственно). Это свидетельствует о том, что причины, обуславливающие форму суточных вариаций ЕИЭМП, имеют межрегиональный (или планетарный), региональный характер.



Пржевальск

Соколовка

Рис. 4.1.1. Среднемесячные, суточные хода и их среднеквадратичные отклонения ЕИЭМП по двум составляющим – на станциях Пржевальск и Соколовка за I половину 1980 г.

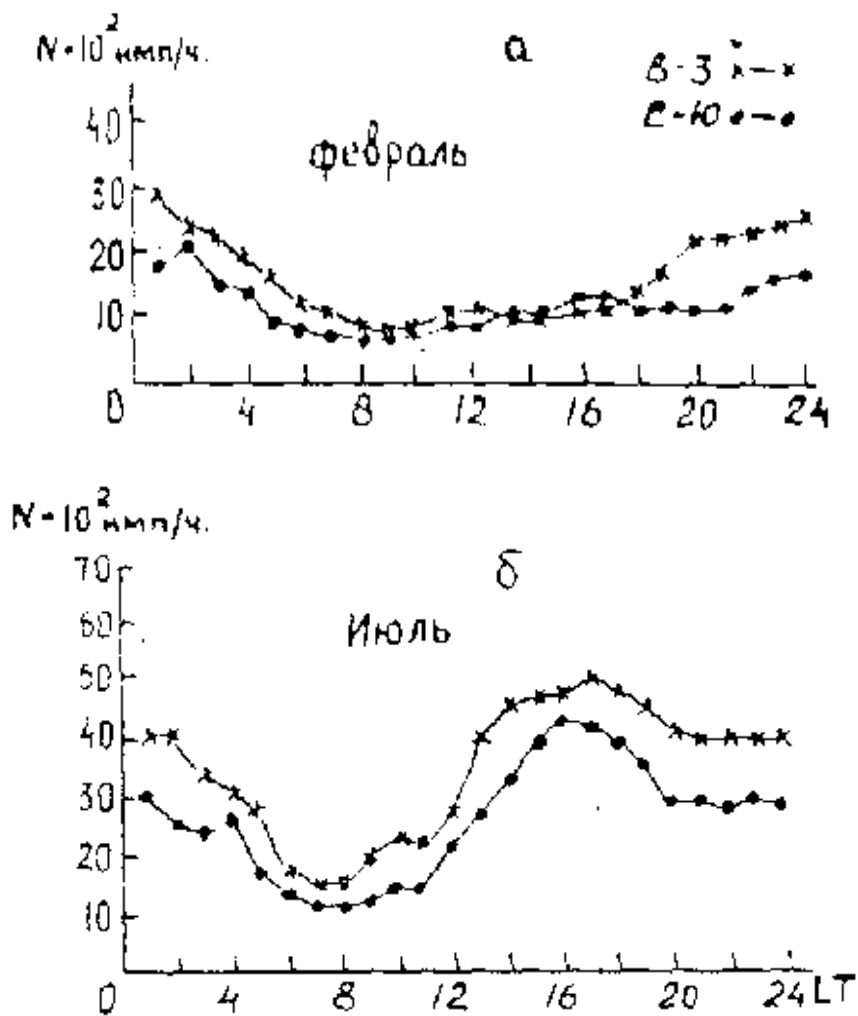


Рис. 4.1.2. Графики суточных ходов ЕИЭМП по двум составляющим, усредненные за 4 года (1978-1981): для февраля (а), июля (б) – ст.Пржевальск

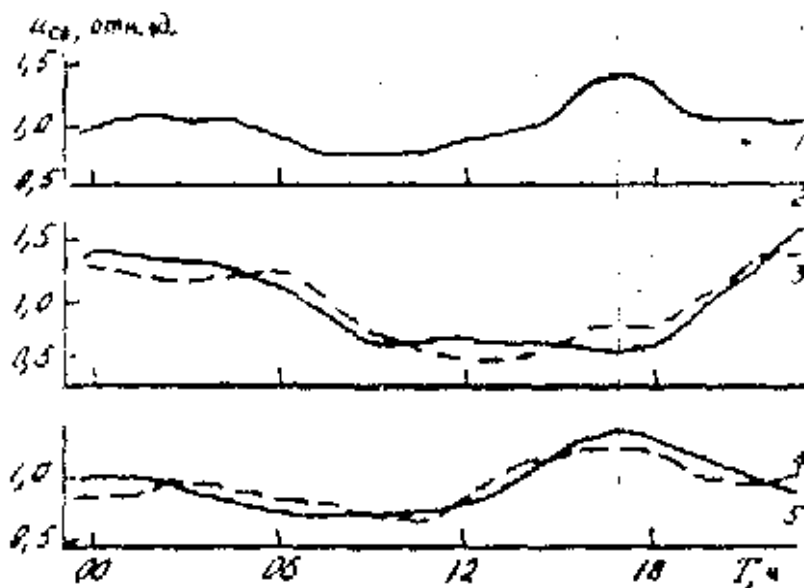


Рис. 4.1.3. суточный ход естественного ЭМИ в районе ташкентского полигона: 1-средний за весь период наблюдений на станции Янги-Базар; 2,3 – среднемесячный за ноябрь 1976 г. на станциях Янги-Базар и Андижан; 4,5 – среднемесячный за июль 1974 г. на станциях Янги-базар и Чарвак

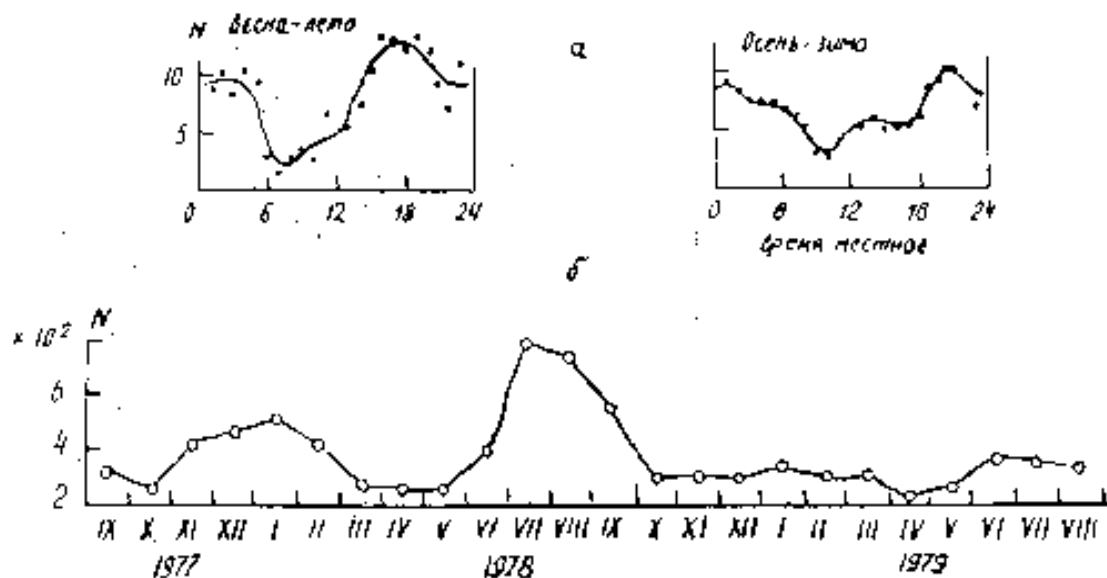


Рис. 4.1.4. Графики временных измерений естественного электромагнитного излучения в Петропавловске-Камчатском: а – суточные вариации (N – среднечасовое количество импульсов по совокупности измерений за сезон); б – сезонные вариации (N – среднесуточные количество импульсов по совокупности измерений за месяц)

Сезонные вариации ЕИЭМП. Сезонные вариации интенсивности потока импульсов анализировались по графикам среднемесячных значений числа импульсов ЕИЭМП. Они представлены на рис.4.1.11. Как следует из этого графика, наибольшие значения интенсивности ЕИЭМП наблюдаются в летние месяцы (июнь-июль), а наименьшие - в зимние (декабрь-февраль). Абсолютная величина максимумов и минимумов для одних и тех же сезонов, а также их положение может меняться от года к году.

Абсолютные величины сезонных вариаций составляют в минимуме в порядке 300 имп/час, а максимуме - 4500 имп/час. Основные закономерности регулярных вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП заключаются, таким образом, в следующем:

- суточные вариации ЕИЭМП характеризуются минимальным уровнем сигналов в утренние часы местного времени и максимальным (зимой) - в ночные часы. В летние месяцы появляется дополнительный максимум интенсивности ЕИЭМП в послеполуденные часы;

- сезонные вариации интенсивности ЕИЭМП характеризуются максимумом интенсивности ЕИЭМП в летние месяцы, а минимумом в зимние.

4.1.1. ЕИЭМП и метеофакторы.

В литературе [210,208,71,65,140] имеются указания о влиянии на характер вариаций ЕИЭМП местных погодных условий и возмущенности геомагнитного поля; представляло интерес убедиться в наличии этих связей на обширном материале наблюдений ЕИЭМП.

Для проверки наличия таких связей проведено сопоставление регулярных вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП с метеорологическими факторами и вариациями геомагнитного поля. Наличие связи с тем или иным параметром определялось путем сопоставления временных рядов анализируемых величин.

Для анализа связи вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП с различными метеорологическими факторами использованы данные метеостанции “Пржевальск” Управления по гидрометеорологии и контролю природной среды Кыргызстана.

Климат Прииссыккуля, по данным УГКС Кыргызстана, континентальный. На него влияют рельеф, значительная высота над уровнем моря (1609 м), большой объем воды озера и его площадь.

Большие суточные и годовые амплитуды колебаний метеорологических параметров, характерные для Средней Азии, и Прииссыккуля, резко сокращаются под воздействием значительной водной массы озера Иссык-Куль. Постоянное испарение с водной поверхности создает повышенную влажность воздуха и прибрежной зоны.

Для Иссык-Кульской впадины, как и для всей Средней Азии, характерно вторжение холодных арктических (Боомское ущелье и перевал Сан-Таш) и умеренных масс воздуха, вызывающее резкое изменение погоды [269]. Иногда с Юго-Запада к котловине вторгаются тропические циклоны. Нами из данных УГКС Кыргызстана использованы следующие метеорологические параметры: температура воздуха, влажность, облачность, давление, количество осадков, скорость ветра и местная грозовая деятельность для отдельных дней и их среднемесячные значения за период с 1978 по декабрь 1981г. Эти данные были сопоставлены с суточным ходом ЕИЭМП за отдельные дни, а также со среднемесячными значениями фоновой интенсивности ЕИЭМП.

На рис. 4.1.5.;4.1.6;4.1.7 приведены сопоставления различных метеорологических факторов с суточным ходом ЕИЭМП за отдельные дни для зимнего и осеннего сезонов в безгрозовый период. В дни с резкими перепадами метеорологических факторов не наблюдается заметных отличий характеристики суточного хода ЕИЭМП по сравнению с днями со стабильными значениями этих параметров (для соответствующих сезонов). Это свидетельствует о том, что все перечисленные выше метеорологические факторы не оказывают заметного влияния на характер суточного хода ЕИЭМП.

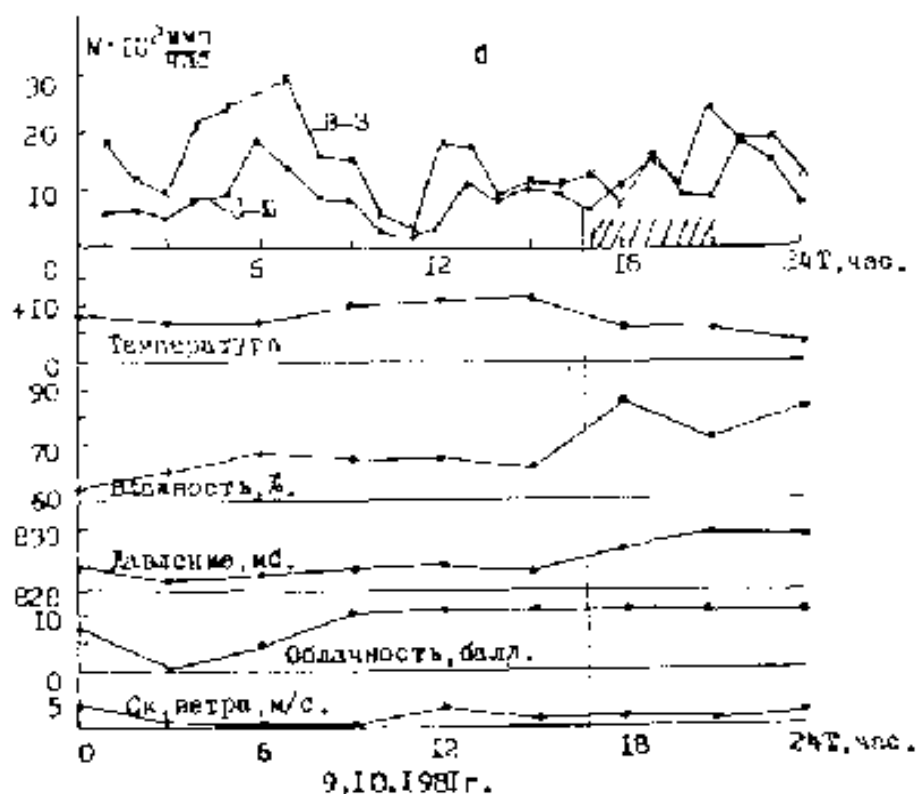
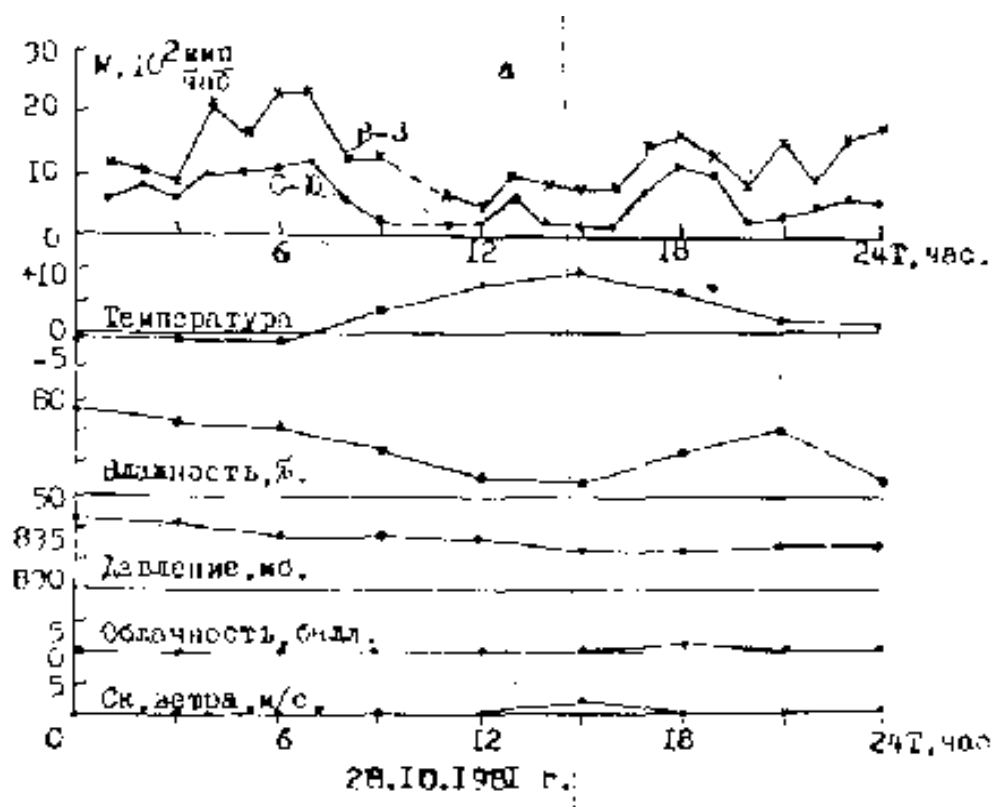


Рис.4.1.5. Сопоставление различных метеорологических факторов с суточными ходами ЕИЭМП за отдельные дни: а – день со стабильными значениями метеопараметров, б – день с резкими изменениями метеоусловий; ////////////// - период осадков

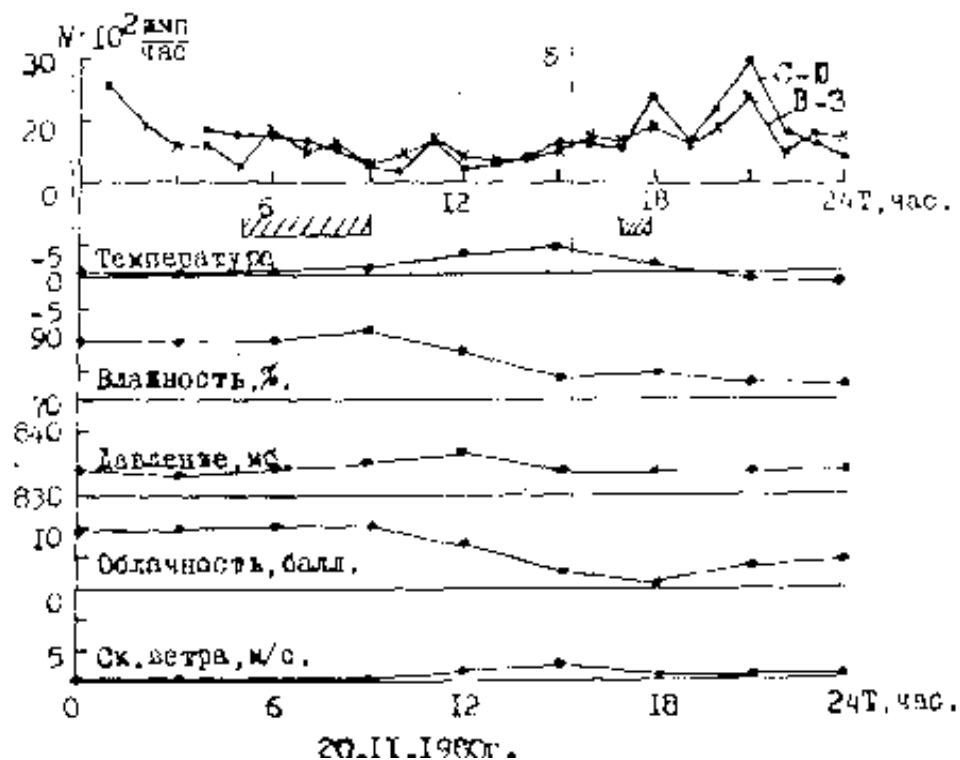
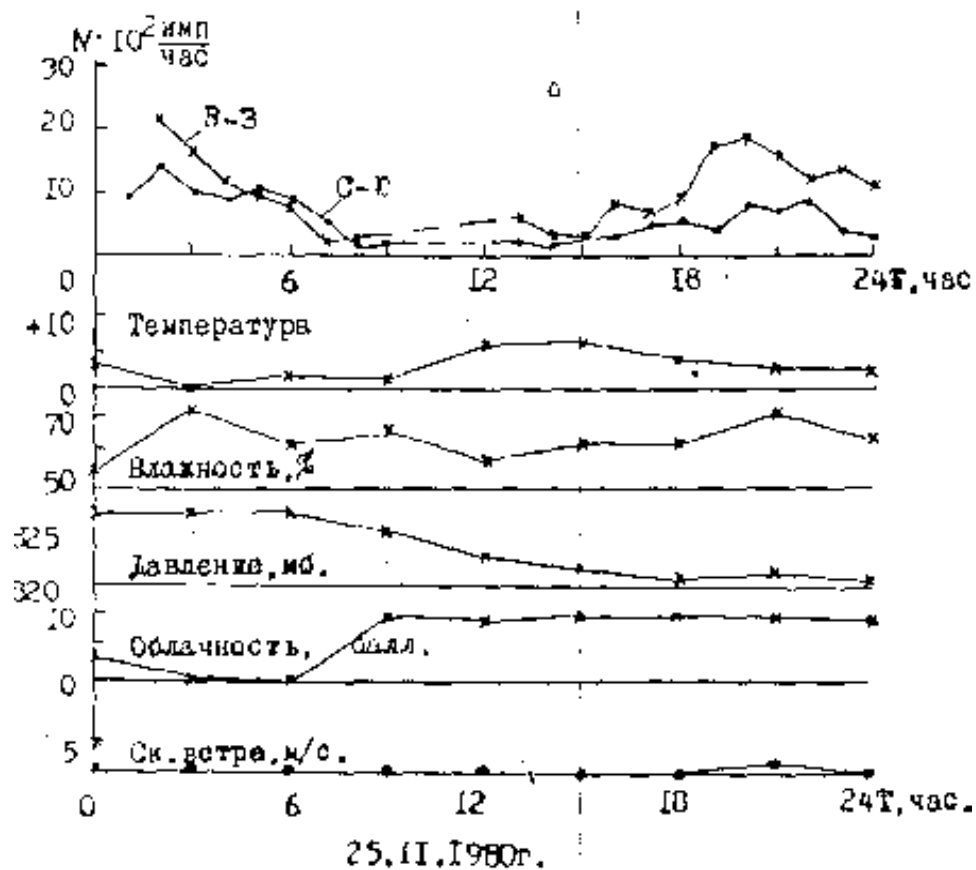


Рис. 4.1.6. Сопоставление различных метеорологических факторов с суточными ходами ЕИЭМП за отдельные дни: а – день со стабильными значениями метеопараметров, б – день с резкими изменениям метеусловий. // - периоды осадков

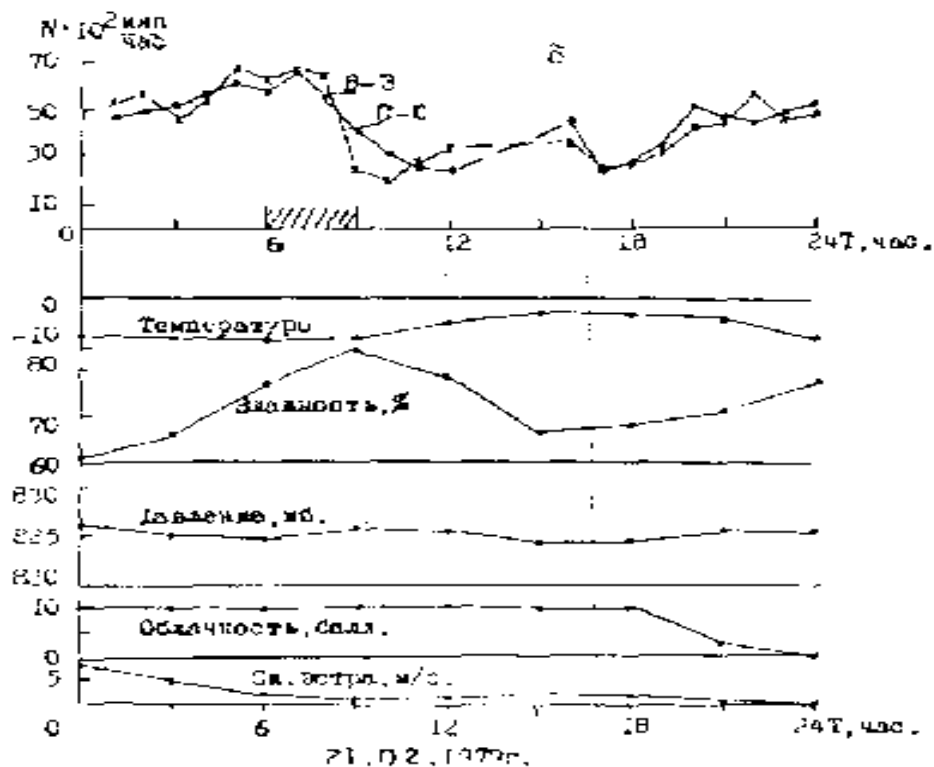
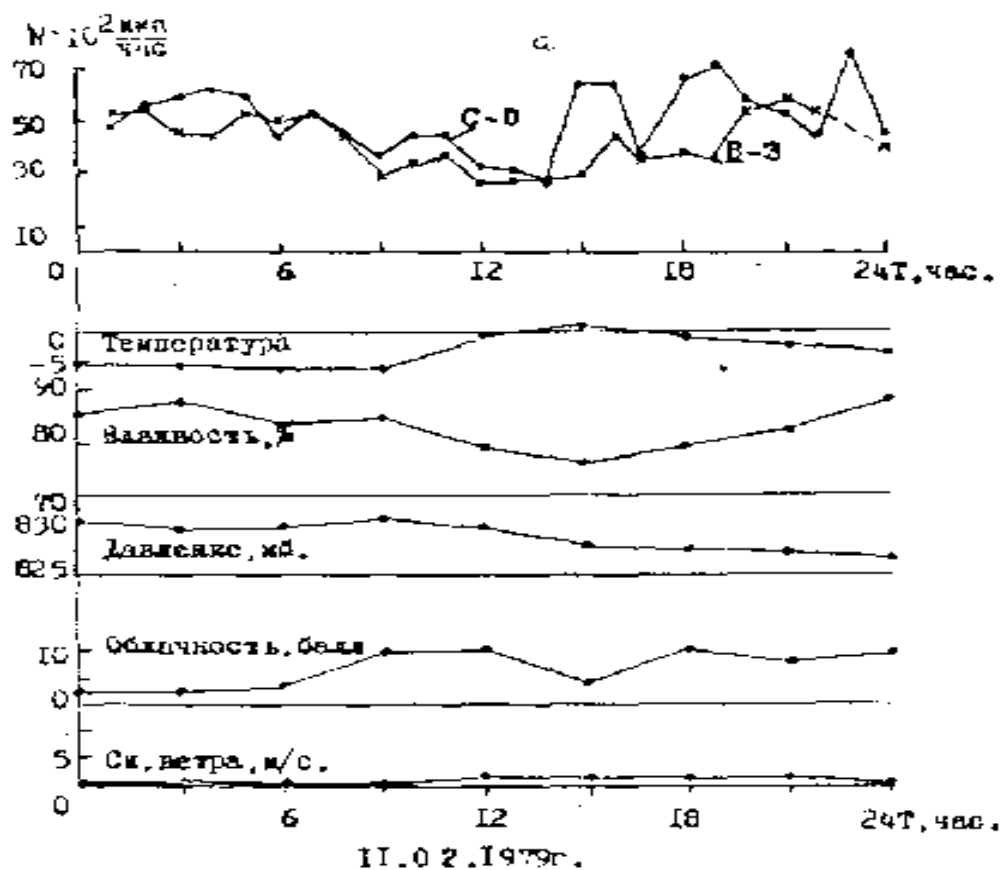


Рис. 4.1.7. Сопоставление различных метеорологических факторов с суточными ходами ЕИЭМП за отдельные дни: а – день со стабильными значениями метеопараметров, б – день с резкими изменениям метеусловий; ////////////// - период выпадения снега

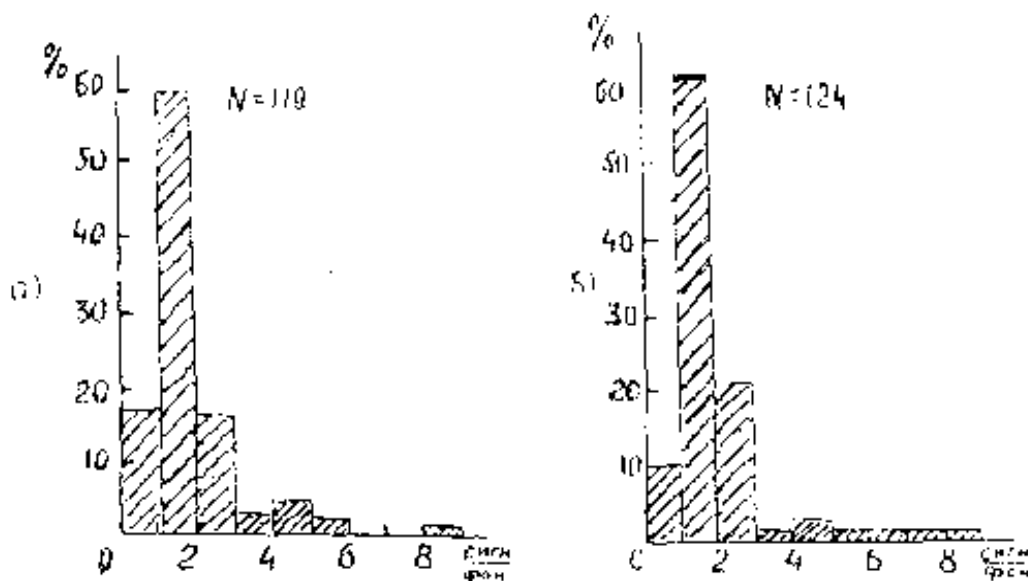


Рис. 4.1.8. Влияние близких гроз на регистрацию импульсов естественного электромагнитного поля Земли в грозовые часы: по направлению В-З (а), по направлению С-Ю (б).

Отдельно были рассмотрены дни с местными грозами. На метеостанциях УГКС Кыргызстана не имеются приборы для определения расстояния от места наблюдателя до грозы. Поэтому на станциях грозы наблюдаются визуально, тот есть регистрируются те грозы, которые происходят непосредственно над станцией на расстоянии примерно до 5 км, и их считают местными. Для анализа влияния местных гроз на состояние ЕИЭМП сопоставлено 124 случая близкой грозовой деятельности по данным метеостанции "Пржевальск", расположенных от пункта наблюдения ЕИЭМП на расстоянии 4 км. Построены гистограммы максимальных значений отношений сигнал - фон интенсивности электромагнитного поля, зарегистрированные в период грозовой активности. (рис. 4.1.8.). За сигнал взяты максимальные амплитуды возмущения ЕИЭМП во время грозы, за фон - среднемесячные значения ЕИЭМП в период грозы. Как следует из приведенного рисунка, максимальное число случаев (более 50%) приходится на величину значений отношения сигнал + фон , равную :

$$(1 \div 2) \cdot 10^3 \text{ имп/час.}$$

С увеличением интенсивности излучения более $2 \cdot 10^3$ имп/час число случаев резко уменьшается. Таким образом, во время близости грозы в 90 % случаев интенсивность аномально возрастает в 1.5 - 8 раз. Эти аномалии носят во времени непродолжительный характер и с уменьшением грозовой деятельности быстро спадают. Средняя продолжительность аномалий ЕИЭМП грозового происхождения составляет 25-40 мин. В редких случаях она достигает часа и более. Характер аномалий ЕИЭМП во время продолжительной грозы в районе г. Пржевальска иллюстрируется на рис. 4.1.9.

Заметные аномалии ЕИЭМП возникают также в зимний период во время снежных бурь и пурги, как это видно из рис. 4.1.10.

Для анализа связи между сезонными вариациями ЕИЭМП с различными метеорологическими факторами использованы данные о среднемесячных значениях температуры воздуха, влажности, облачности, давления, количества осадков, скорости ветра и числа местных гроз г. Пржевальска.

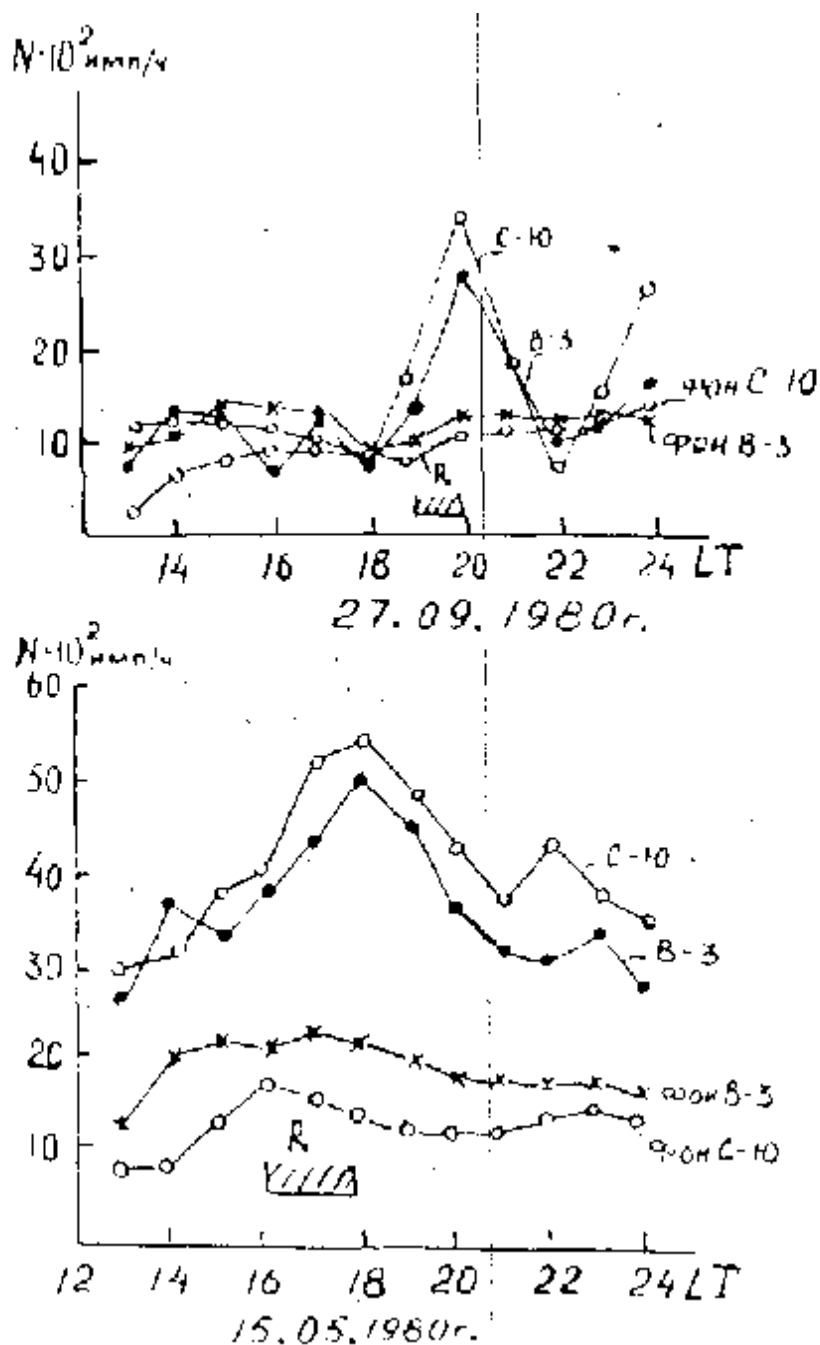


Рис. 4.1.9. Примеры аномального возрастания уровня ЕИЭМП во время грозовой деятельности на ст. Пржевальск по двум составляющим.

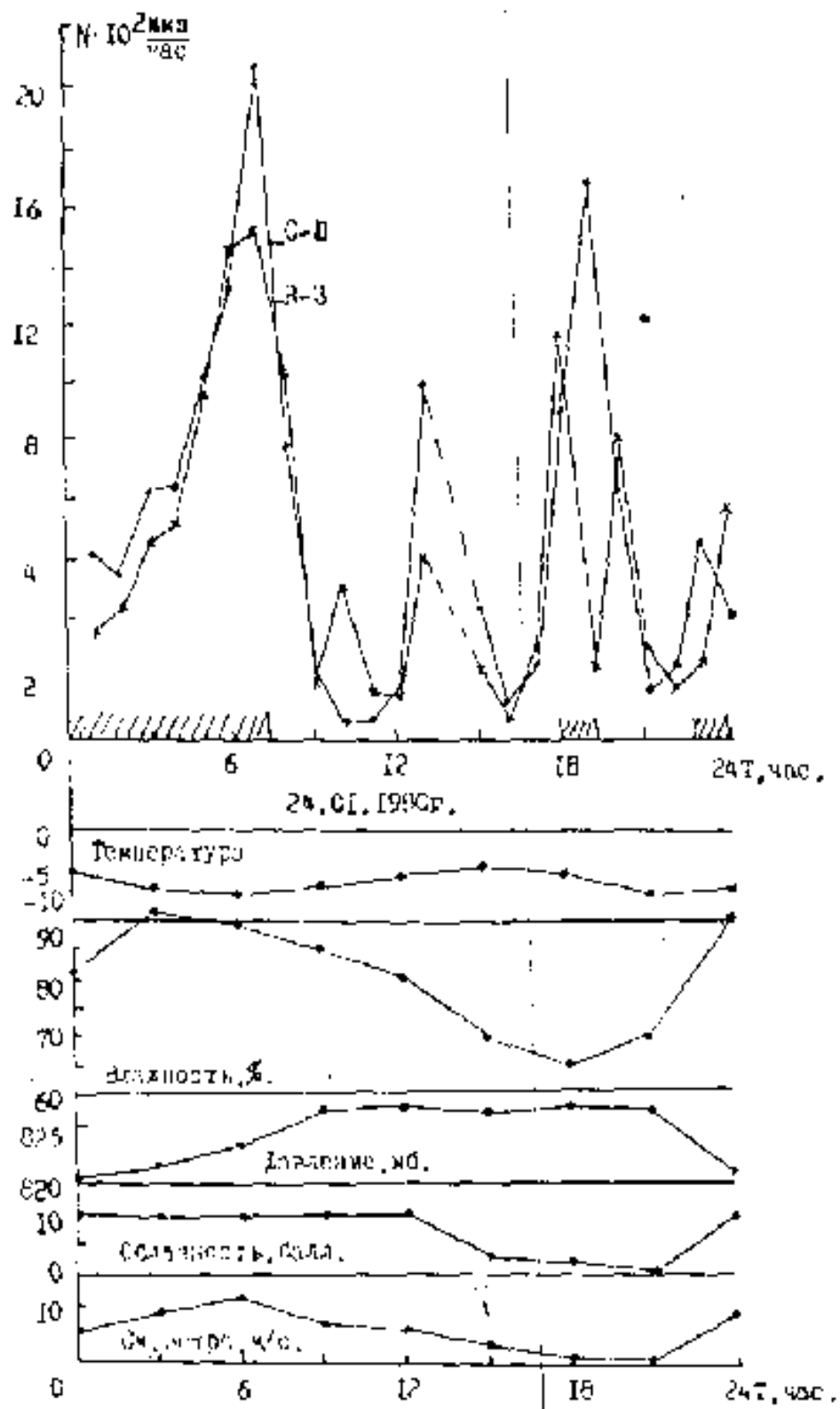


Рис. 4.1.10. Аномалия ЕИЭМП во время снежных бурь и пурги

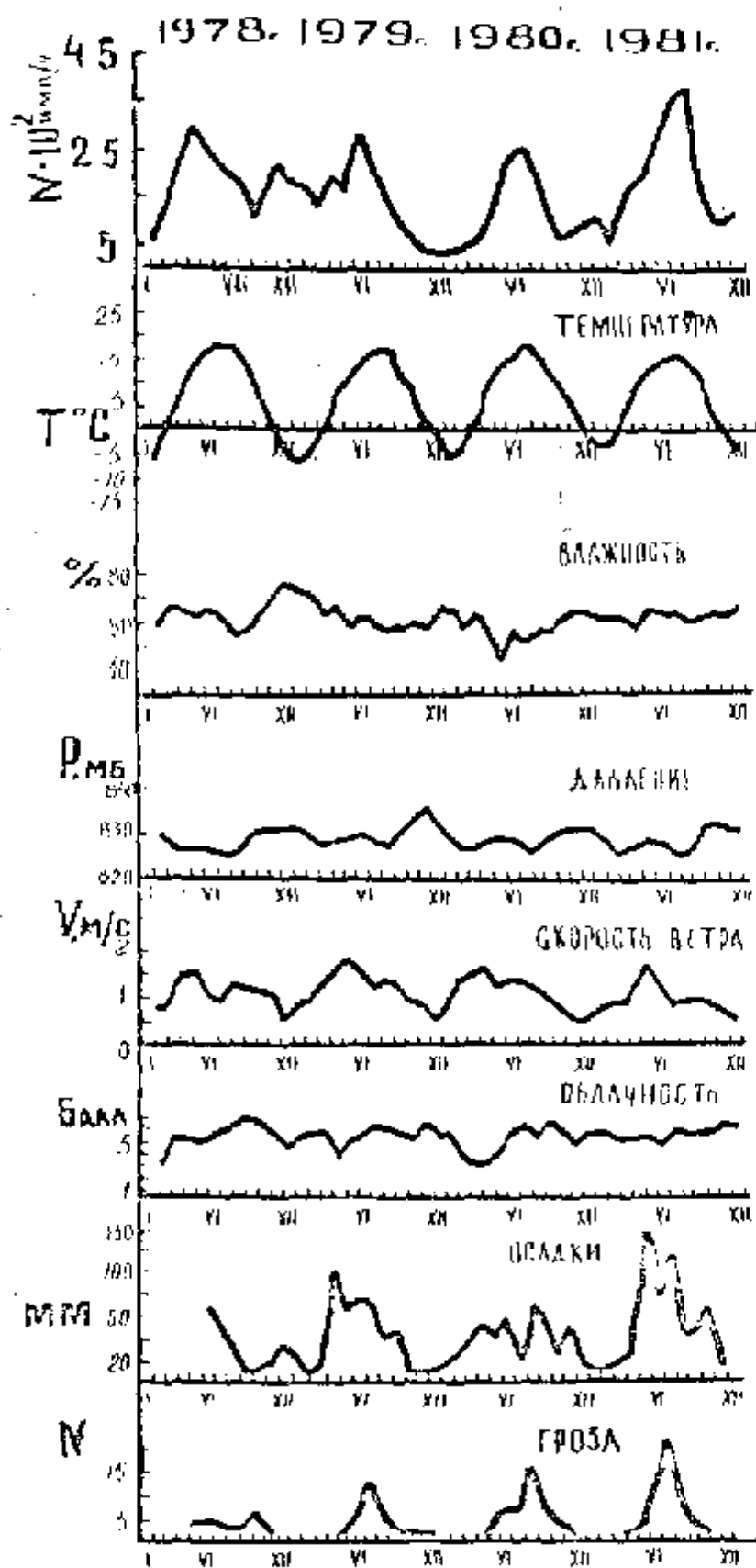


Рис. 4.1.11. Сопоставление сезонных вариаций ЕИЭМП с метеорологическими факторами.

Эти данные были сопоставлены со среднемесячными значениями интенсивности ЕИЭМП. Результаты этого сопоставления приведены на рис. 4.1.11. Рассмотрим влияние каждого фактора в отдельности.

А. Температура. Озеро Иссык-Куль в зимнее время оказывает смягчающее влияние на климат. На Северном и южном побережье Иссык-Куля теплее, чем в других межгорных долинах Северного Кыргызстана. Продолжительность зимы с частыми оттепелями ~ 3 месяца. Лето на побережье Иссык-Куля умеренно теплое. Продолжительность его около 5 месяцев.

Анализ представленного на рис.4.1.11. четырехлетнего хода температуры воздуха показывает, что график изменения среднемесячных значений температуры имеет четко выраженный годовой ход с минимумом в январе-феврале и максимумом в июле. Годовой перепад температур составляет в среднем 25-27 градусов. Годовой ход интенсивности ЕИЭМП характеризуется наличием небольших амплитуд (максимум) летом и наименьших (минимум) в осенне-зимние месяцы. Коэффициент корреляции между этими явлениями составляет 0.52.

Б. Влажность. Относительная влажность воздуха на Иссык-Куле в летнее, а также в зимнее время всегда выше по сравнению с другими межгорными долинами Кыргызстана, вследствие большей высоты над уровнем моря и испарения с озера. На графике четко выраженных закономерностей изменения влажности в рассматриваемый период времени не отмечается. Среднемесячные величины относительной влажности воздуха колеблются от 44 до 74%. Наибольший процент влажности приходится на декабрь 1978г., а наименьший на май 1980г. Аномальных изменений интенсивности ЕИЭМП в эти месяцы не наблюдалось. Коэффициент корреляции между этими явлениями составляет 0.1.

В. Давление. Средне годовое давление у поверхности озера Иссык-Куль 840 мб, что на 173 мб меньше нормального давления над уровнем океана.

В рассмотренный период времени график изменения атмосферного давления в г.Пржевальске имеет слабо выраженную полугодовую периодичность, однако экстремальные значения этого параметра находятся в противофазе с сезонными изменениями интенсивности ЕИЭМП, что свидетельствует об отсутствии связи между этими явлениями. Коэффициент корреляции между ними составляет 0.1.

Г. Скорость ветра. В Пржевальске в среднем за летний сезон преобладают западные и восточные ветры. Вследствии орографической замкнутости котловины средние годовые и летние скорости ветра в прибрежной зоне Иссык-Куля невелики (менее 2.5 м/сек.).

В указанный период так же как и на графике изменения температуры, в изменении скорости ветра наблюдается годовой ход с минимумов в зимние (декабрь) и максимумов в весенние (апрель-май) месяцы. Коэффициенты корреляции между ними и ходом ЕИЭМП составляет 0.42.

Д. Облачность. В г.Пржевальске обычно во второй половине дня облачнее, чем в первой.

График изменения облачности не имеет четко выраженных закономерностей. В связи с этим сопоставление сезонных изменений ЕИЭМП с графиком изменения облачности дает очень низкий коэффициент корреляции (0.1). Это говорит об отсутствии связи между ними.

Туманы в прибрежной зоне озера Иссык-Куль наблюдаются редко (не более 1-2 дней в году) - в основном в восточной части Пржевальска. В эти дни никаких аномальных изменений интенсивности ЕИЭМП не наблюдалось.

Е. Количество осадков. Осадков в Пржевальске выпадает около 386-400мм в год, преимущественно в теплый период. На май, июнь, июль, август приходится 50% их годовой суммы, на декабрь, январь, февраль - 10%. В холодный период осадков мало, так как Иссык-Кульская котловина находится под влиянием Сибирского антициклона. Выпадение осадков в это время связано с циклоническими вторжениями и местной термической депрессией на поверхности незамерзающего озера [269].

Сопоставление сезонных изменений ЕИЭМП с графиком изменения количества осадков показывает, что между этими явлениями коэффициент корреляции равен 0.50.

Ж. Число гроз. В течение года - преимущественно в июне, июле и в августе, реже - в зимнее время - насчитывается до 50 грозовых дней. Анализ представленного на рис. 4.1.11. четырехлетнего числа гроз показывает, что максимальное их количество наблюдается в июле-августе. Сопоставление сезонных изменений ЕИЭМП с графиком изменения числа гроз дает коэффициент корреляции, равный 0.62, то есть обнаруживаются прямые корреляционные связи между этими явлениями.

Таким образом, сопоставление сезонных изменений различных метеорологических факторов и фоновой интенсивности ЕИЭМП за период с февраля 1978г. по январь 1982г. не обнаруживает прямых корреляционных связей между этими явлениями, за исключением числа близких гроз. Однако идентификация влияния близких гроз с большей степенью достоверности возможна по морфологии аномалий ЕИЭМП.

4.1.2. Сопоставление вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП с вариациями геомагнитного поля.

В ряде работ [71,72,65,208,140] делается предположение о возможном влиянии на поведение ЕИЭМП вариаций магнитного поля Земли. Однако детального анализа этих связей до настоящего времени никем не проводилось.

Длительные режимные наблюдения ЕИЭМП в Пржевальске позволяют произвести сопоставление вариаций ЕИЭМП с наблюдениями вариаций геомагнитного поля на обс. Алма-Ата, относящейся к мировой сети геомагнитных обсерваторий. Сравнительная близость этой обсерватории от Пржевальска ($R < 200$ км) делает такое сопоставление вполне правомерным.

Наблюдения вариаций геомагнитного поля на обс. Алма-Ата ведутся на 2-х трехкомпонентных магнитовариационных станциях системы Боброва на развертке 20 км/час. Цены деления основной (стандартной) серии измерений составляют:

$$E_H = 3.00 \gamma / \text{мм}, \quad E_Z = 3.00 \gamma / \text{мм}$$

$$E_D = 0.40 \text{ мин} / \text{мм}$$

Чувствительность второй системы, предназначенной для регистрации магнитных бурь, в несколько раз ниже.

Такая чувствительность записи и скорости развертки позволяют произвести анализ для вариаций с периодами больше часа. К таким вариациям относятся спокойные солнечно-суточные вариации (Sq), магнитные бури и суббури, проявляющиеся в средних широтах в виде бухт.

Методика наблюдений и обработки ЕИЭМП позволяют анализировать периоды длительностью более одного часа. Исходя из этого нами произведено сопоставление суточного хода ЕИЭМП с регулярными Sq вариациями геомагнитного поля и возмущенных периодов ЕИЭМП с иррегулярными возмущениями - Dst- вариациями и бухтами.

Sq - вариации относятся к классу регулярных геомагнитных вариаций. Они связаны с суточным вращением Земли вокруг своей оси и контролируются местным временем. Источником Sq-вариаций являются вихревые токи в Е слое ионосферы. Центры токовых вихрей расположены ~ на 30° северной и южной широт на полуденном меридиане.

Методика выделения Sq-вариаций по данным мировой сети магнитных обсерваторий сводится к осреднению данных среднечасовых значений компонент геомагнитного поля по 5 магнитоспокойным дням за каждый месяц. Такие дни характеризуются наименьшей суммой трехчасовых значений Кр-индекса за месяц [270].

Нами были построены графики суточного хода H , D , Z компонент геомагнитного поля для каждого месяца за период с 1.1978 по 12.1981г. по 5 магнитоспокойным дням по данным обс. Алма-Ата.

За эти дни были построены графики среднесуточного хода ЕИЭМП. В качестве примера приведены графики за 1978-81гг (рис.4.1.12.). В левой стороне рисунков расположены кривые изменения H , D , Z - компонент магнитного поля, а в правой суточные хода ЕИЭМП. Время на рис. местное.

Как следует из этих рисунков, суточные вариации H , D , Z - компонент характеризуются большой регулярностью и имеют практически неизменную форму. В ночные часы уровень магнитного поля практически не изменяется. С восходом солнца он претерпевает следующие изменения:

- H - компонента имеет минимум в местные полуденные часы,
- Z - компонента имеет минимум в 13 часов местного времени,
- D - компонента в утренние часы возрастает, а в 12 часов местного времени переходит через «0» и меняет знак на обратный.

Эта форма суточных вариаций является типичной для средних широт северного полушария. Она остается практически неизменной в течении всего года. Меняется только амплитуда вариаций. Летом она в несколько раз выше, чем зимой. Возрастание амплитуд Sq -вариаций от зимних к летним месяцам связано с изменением освещенности Солнцем земной поверхности и увеличением в связи с этим ионизации в слое E ионосферы. Таким образом, основной чертой Sq -вариаций магнитного поля является неизменность их формы в течении года и закономерное возрастание амплитуд от зимних к летним месяцам.

Для суточного хода ЕИЭМП не обнаружено таких строгих закономерностей. Положение утреннего минимума сдвинуто, то на более ранние, то на более поздние часы. Положение максимума еще более неустойчиво. В летние месяцы появляется дополнительный максимум после полудня. В зимние месяцы вообще не наблюдается четко выраженных экстремальных значений. Изменение амплитуд с сезоном также не имеет таких строгих закономерностей, как для Sq -вариаций. Это указывает на то, что Sq -вариации геомагнитного поля и суточные вариации ЕИЭМП имеют разную природу.

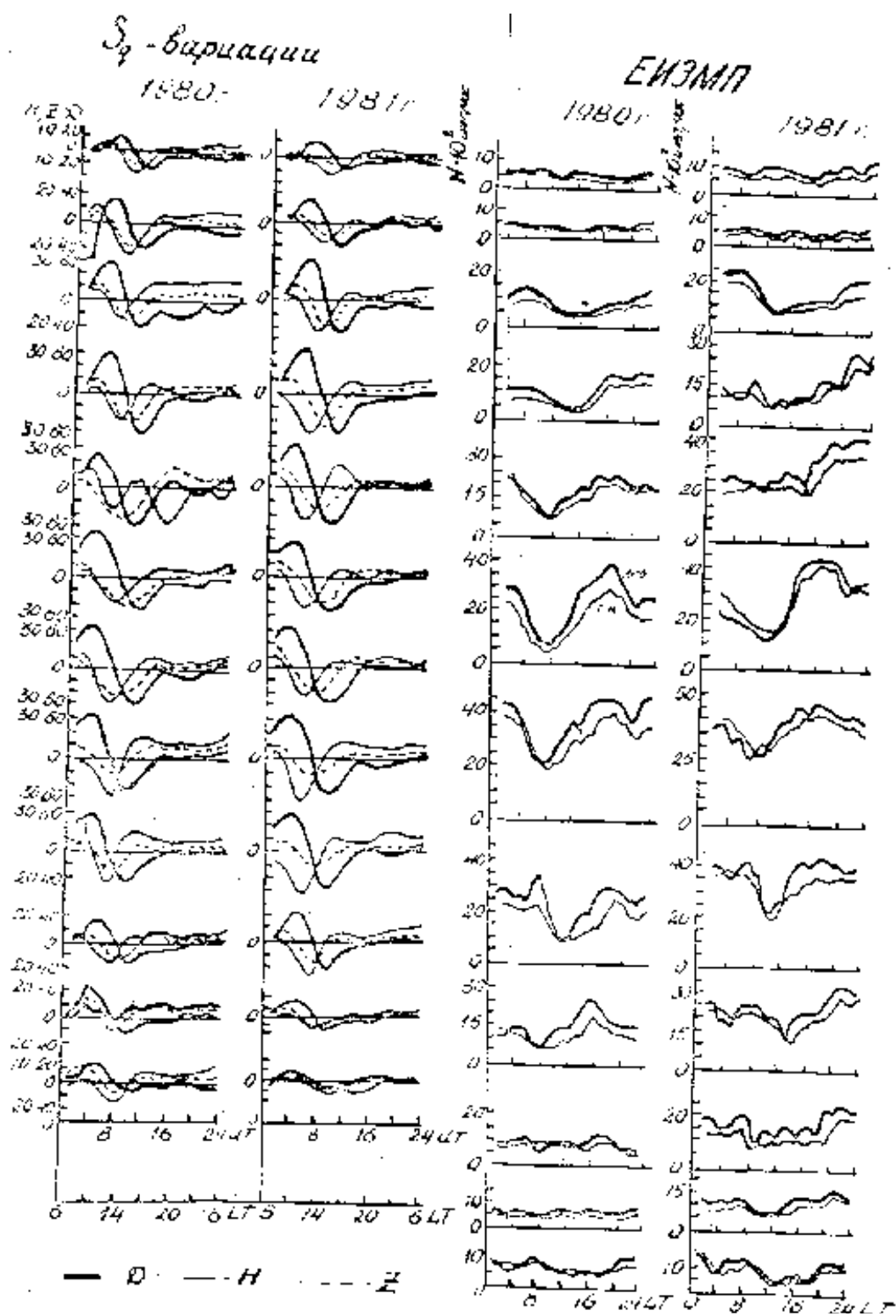


Рис. 4.1.12. Сопоставление Sq – вариаций геомагнитного поля на обс. Алма-Ата и суточных ходов ЕИЭМП на ст.Пржевальск по 5 международным спокойным дням за 1980-1981 г.г.

Сопоставление возмущенных периодов ЕИЭМП с магнитными бурями и бухтами.

К регулярным магнитным вариациям относятся магнитные бури (Dst) и бухтообразные возмущения (суббури DPI). Магнитные возмущения могут иметь локальный характер и наблюдаться только в ограниченном секторе долгот и широт или же, достигая большой интенсивности, охватить одновременно всю Землю. В последнем случае их называют мировыми магнитными бурями (γ_{Dst}). Современные гипотезы о природе магнитных возмущений исходят из предположения, что причиной их является энергия, излучаемая Солнцем.

Усредненная Dst - вариация проявляется, главным образом, в Н-составляющей и может быть разделена на три фазы: начальную, когда происходит увеличение величины поля; главную, когда наблюдается резкое уменьшение интенсивности, и фазу восстановления, когда поле медленно и постепенно возвращается к своему первоначальному и спокойному состоянию. Повышение интенсивности магнитного поля в начальной фазе бури обусловлено DCF - токами, возникающими на границе магнитосферы при взаимодействии солнечных корпускулярных потоков с магнитным полем Земли. Кольцевые DR-токи, текущие в западном направлении на расстоянии от 2 до 7 радиусов от центра Земли, оказывают противоположное действие - происходит уменьшение поля на земной поверхности. При постепенном затухании этих токов магнитное возмущение прекращается. То есть магнитная буря в нижних и средних широтах является результатом действия DCR - и DR- полей. В зависимости от соотношения этих полей длительность и интенсивность всех трех фаз бури могут существенно различаться. Обычная длительность начальной фазы 1-6 часов, главной фазы 3-12 часов, фаза восстановления может длиться от нескольких часов до нескольких суток. Амплитуды магнитных бурь достигают сотен гамм. В зависимости от интенсивности бури делятся на слабые (малая - МБ), умеренные (УБ) и большие (ББ). Ввиду того, что интенсивность бурь возрастает от низких геомагнитных широт к высоким, шкала амплитуд для каждой из этих категорий возмущений должна быть своей для разных обсерваторий. Для обс. Алма-Ата амплитудные границы магнитных бурь в гаммах приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Интенсивность бурь											
Малая (МБ)			Умеренная (УБ)			Большая (ББ)			Очень большая(ОБ)		
D	H	Z	D	H	Z	D	H	Z	D	H	Z
60-80γ	70-110γ	20-40γ	90-120γ	111-160γ	41-60γ	121-150γ	161-210γ	61-90γ	151γ	211γ	91γ

Dst- вариации могут быть с внезапным (Sc) и постепенным началом. В первом случае на фоне спокойного хода всех элементов внезапно происходит скачок, отмечаемый одновременно в пределах одной-двух минут на всех станциях земного шара. Особенно резко такой скачок проявляется в величине горизонтальной составляющей, которая внезапно увеличивается на десятки гамм. Во втором случае возмущения возникают в виде постепенного увеличения амплитуды всех элементов, при этом начальный момент с той точностью, с которой он устанавливается для бурь с внезапным началом, определить не удастся. В этом случае моменты начала бури, определяемые на разных станциях, могут отстоять друг от друга на час и более.

Бухтообразные возмущения (DPI). Бухтообразные возмущения максимальной интенсивности проявляются в авроральной зоне в виде положительных и отрицательных отклонений от спокойного уровня. Наиболее отчетливо они проявляются на записи горизонтальной составляющей.

Источником бухтообразных возмущений является полярная электроструя (полярный электроджет), расположенная на высоте 100-200 км [270]. Бухты появляются в вечерние и ночные часы (с 18^h до 6^h LT). Их амплитуды в средних широтах составляют от нескольких до десятков гамм, а длительность - от десятков минут до 2-3 часов.

Изучение связи иррегулярных вариаций магнитного поля и возмущений ЕИЭМП проводилось на основе непосредственных сопоставлений записей геомагнитного поля и ЕИЭМП. Результаты этих сопоставлений приведены в приложении 2. В левой стороне приложения приведены список магнитных бурь за весь период наблюдений с 1.1978г. по 12.1981г. с указанием их длительности, интенсивности и других характеристик по данным обс. Алма-Ата. В правой стороне таблицы даны характеристики возмущений ЕИЭМП в период прохождения бури. В примечании знаком "+" отмечено наличие совпадений, а знаком "-"

отсутствие их в протекании обоих явлений.

В результате произведенного анализа обнаружено, что из 100 рассмотренных магнитных бурь только в 18% случаев удается найти совпадение по времени в протекании обоих явлений, но даже и в этих случаях совпадение не является всегда удовлетворительным, а именно: случаям интенсивности магнитных бурь соответствуют относительные возмущения ЕИЭМП, и наоборот. Кроме того, начало возмущений в большинстве случаев, как правило не совпадает. Часто наблюдается полностью противоположная картина в протекании обоих явлений: случаям интенсивности магнитных бурь соответствуют относительно спокойные состояния ЕИЭМП, и наоборот (рис.4.1.13, 4.1.14).

Аналогичное сопоставление проведено для бухтообразных возмущений. Для анализа отобраны бухтообразные возмущения с длительностью более 1 часа и с амплитудой более 15γ. Всего таких бухт отобрано 73. Результаты проведенного анализа даны в приложении 3. В левой стороне таблицы дан список отобранных бухтообразных возмущений и их характеристика, а в правой стороне - характеристика возмущений ЕИЭМП. Как и для магнитных бурь, процент случаев совпадений в протекании бухтообразных возмущений магнитного поля и возмущений ЕИЭМП не превышает 10. Результаты сопоставлений показаны на рис.4.1.15,4.1.16.

Произведенный анализ позволяет делать вывод о том, что низкая корреляция между иррегулярными возмущениями магнитного поля (магнитные бури, бухты) и возмущения ЕИЭМП, как и в случае регулярных Sq- вариаций, свидетельствует об отсутствии прямой связи между этими явлениями.

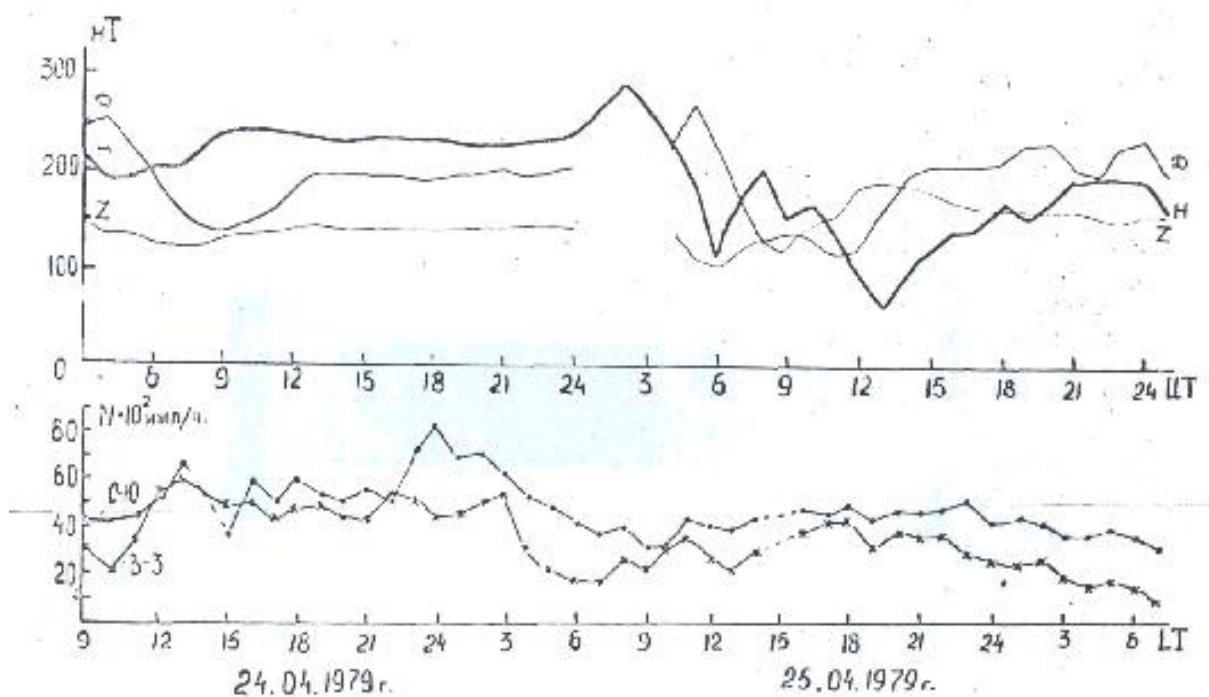


Рис. 4.1.13. Сопоставление суточных ходов ЕИЭМП на ст. Пржевальск и геомагнитного поля на obs. Алма-Ата во время сильной магнитной бури

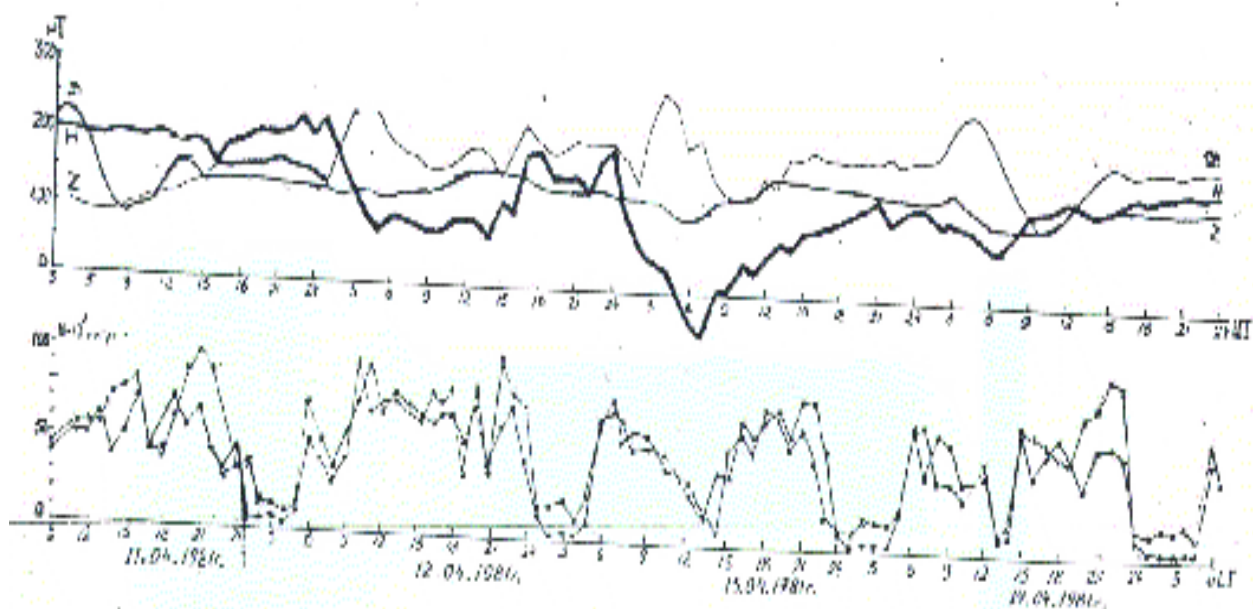


Рис. 4.1.14. Сопоставление суточных ходов ЕИЭМП на ст. Пржевальск и геомагнитного поля на obs. Алма-Ата во время сильной магнитной бури

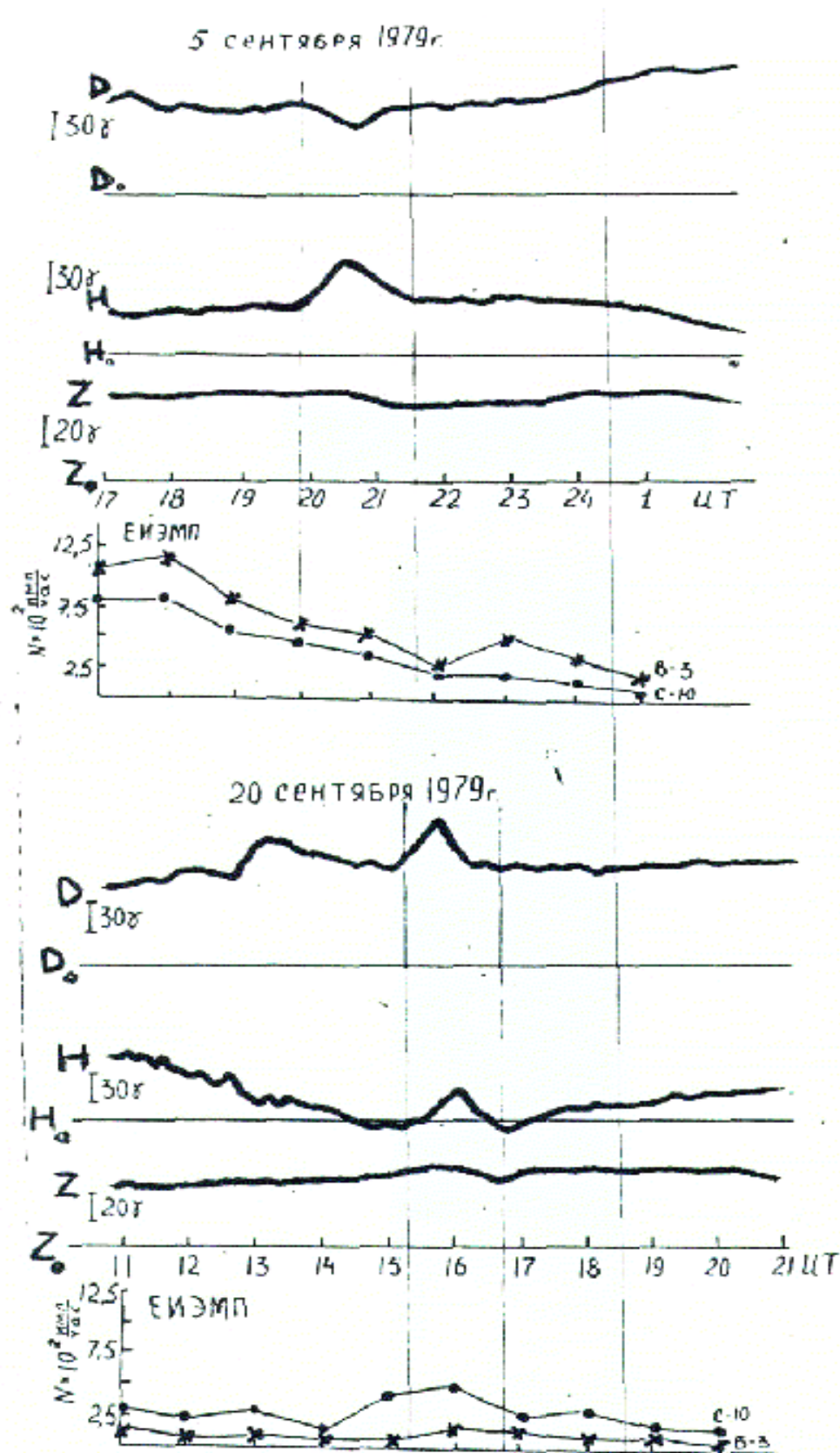


Рис. 4.1.15. Сопоставление вариаций ЕИЭМП на ст. Пржевальск и геомагнитного поля на obs. Алма-Ата во время бухтообразных возмущений

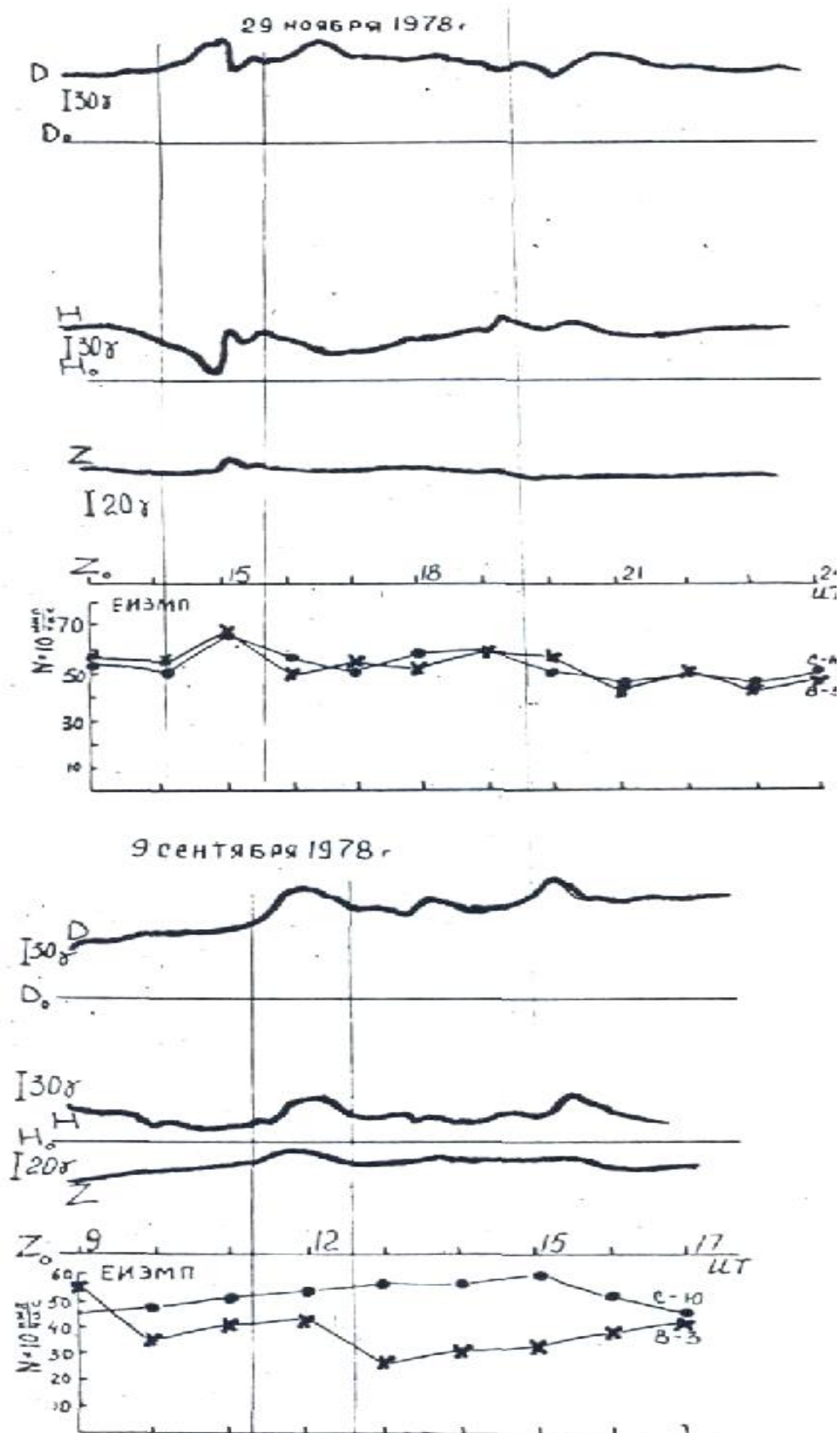


Рис. 4.1.16. Сопоставление вариаций ЕИЭМП на ст. Пржевальск и геомагнитного поля ан obs. Алма-Ата во время бухтообразных возмущений

4.2. Исследования формы сигналов ЕИЭМП с целью определения соотношения источников атмосферного и литосферного происхождения.

Для выделения сигналов импульсного электромагнитного излучения литосферного происхождения из общего числа зарегистрированных импульсов проводилось изучение формы сигналов ЕИЭМП.

Выделение электрических зарядов в литосфере сопряжено с рядом трудностей. Во-первых, неизвестны электрические параметры и частотный спектр литосферных сигналов. Во-вторых, нет разработанной теории подземного распространения импульсных электромагнитных сигналов. Поэтому для выделения литосферной группы сигналов из общего числа зарегистрированных импульсов была применена следующая методика:

- 1) осциллографирование сигналов ЕИЭМП и измерение параметров, характеризующих их форму;
- 2) классификация наблюдавшихся форм электромагнитных импульсов по амплитуде, длительности, частоте, степени затухания и т.д.;
- 3) анализ литературных данных об аналогиях и различиях зарегистрированных сигналов с атмосфериками;
- 4) сопоставление сигналов, имеющих предполагаемое литосферное происхождение, с сейсмическими событиями в районе исследований.

Для регистрации электромагнитных импульсов и их классификации по форме применялся запоминающий осциллограф С8-9А. Осциллографирование производилось на фотопленку.

Для приема сигналов ЕИЭМП использовался электрический диполь. Датчиками служили два штыревых латунных электрода длиной 50 см и диаметром 8 мм. Они располагались в меридиальном направлении и имели базу 30 м. Ближний электрод был удален от осциллографа на 5 м. Оба электрода были закопаны в землю на глубину 0.3 м. Сигналы диполя через согласующий каскад и широкополосный усилитель подавались на вход осциллографа. Контактное сопротивление электрод-Земля было много меньше входного сопротивления регистрирующей системы ($R_k \ll R_{вх}$). Чувствительность измерительной установки по полю составляла 5 - мВ/м.

Осциллографирование импульсов производилось в районе разлома Кунгей-Алатоо и Предтерсейского разлома, имеющих активные тектонические подвижки. Регистрация импульсов велась сеансами длительностью в 1 час: в разное время суток в безгрозовый период. Ближайшая к пунктам регистрации Иссык-Кульская радиостанция

находилась на расстоянии - 60 км. Осциллографирование проводилось обычно во время перерыва передач этой радиостанции.

В результате осциллографирования форм импульсов ЕИЭМП было получено около 1000 изображений. Классификация их по форме и длительности позволила выделить семь групп электромагнитных сигналов, изображенных на рис. 4.2.1. Амплитуды зарегистрированных сигналов лежат в пределах 20 - 100 мВ/м, а их длительность - $\tau = 50-1000$ мкс.

Группы импульсов с I по IV составляют 90% всех зарегистрированных колебаний причем свыше 40% приходится на группу III. Сопоставление этих четырех групп импульсов с результатами фоторегистрации атмосфериков показало, что они в основном соответствуют типовым формам атмосфериков [33, 39, 40, 42-44, 35, 37], регистрируемых на больших расстояниях от источника ($R > 1500 - 2000$ км), однако наиболее длиннопериодные из них (группа II) могли быть обусловлены атмосфериками, генерируемыми на расстояниях менее 1000 км. Наиболее высокочастотные колебания имеют период порядка 10 мкс (группа V). Они появляются в основном в утренние и вечерние часы суток и связаны, возможно, с промышленными помехами. Наиболее длиннопериодные из зарегистрированных сигналов имеют длительность порядка 400-500 мксек (группа VII) и вызваны ветровыми помехами.

Сигналы группы VI не удалось отождествить с какими-либо источниками помех и атмосфериками. Они составляют всего около 4% от общего количества зарегистрированных колебаний. Период этих колебаний равен 100 - 200 мкс, а длительность около 400 мкс. Была сделана попытка отождествить эти сигналы с импульсами литосферного происхождения. Для этого произведено сопоставление периодов регистрации импульсов группы VI с сейсмическими событиями в регионе. Поскольку в периоды наблюдений в изучаемом регионе не отмечались сейсмические события с $K > 11$, то установление связи характерных форм импульсов ЕИЭМП с сейсмичностью оказалось затруднительным. Тем не менее установлено, что в дни землетрясений импульсы группы VI наблюдались чаще в 2 раза по сравнению с сейсмическими спокойными днями. На двухмесячной гистограмме этой группы в марте-апреле 1981 г. отмечается 10 максимумов (рис. 4.2.2.),

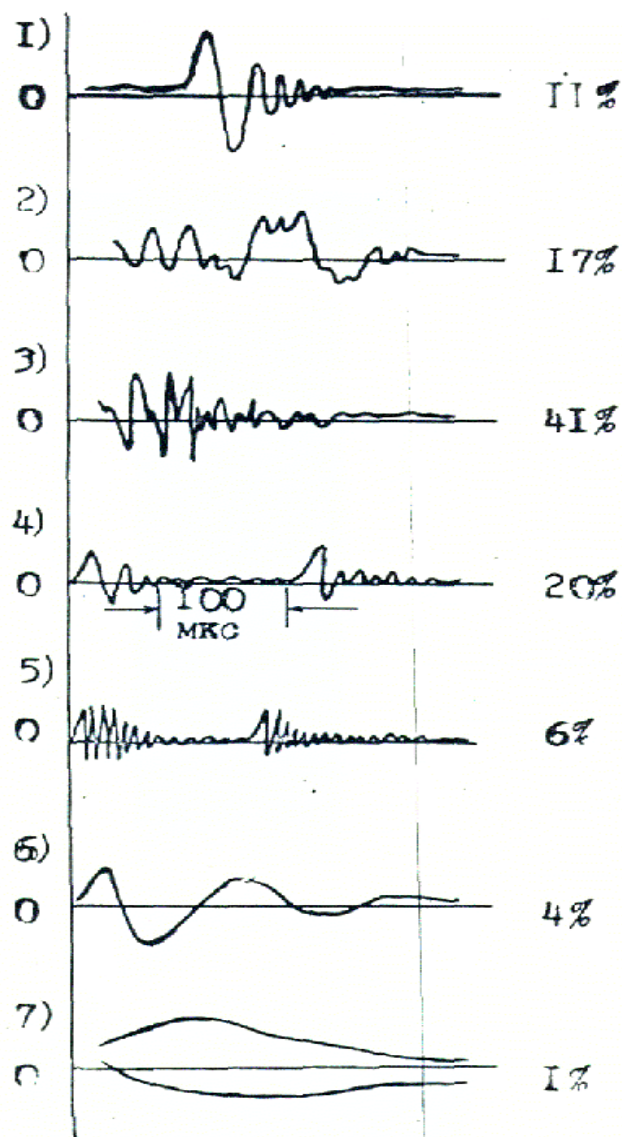


Рис. 4.2.1 Типовые формы ЭМИ

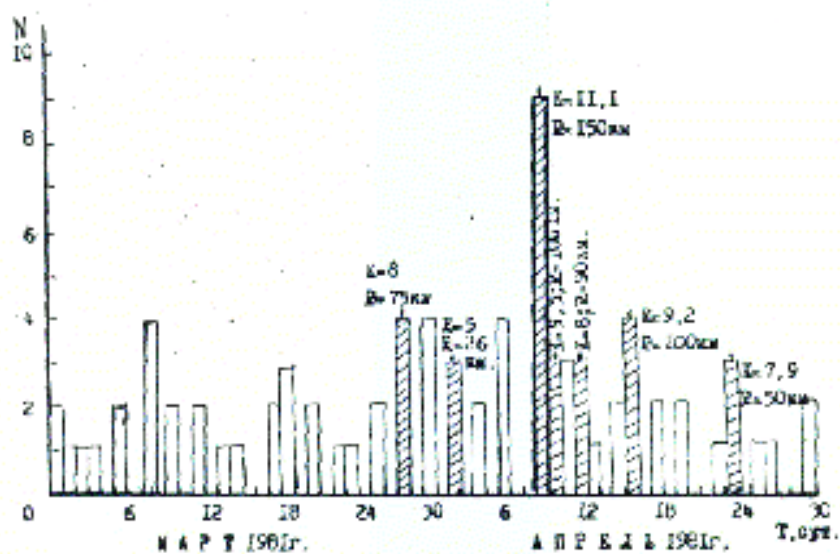


Рис. 4.2.2. Гистограмма для импульсов группы VI за март-апрель 1981г. в том числе 7 из шага соответствуют землетрясениям с эпицентрными

расстояниями до $R = 150$ км, происшедшими в указанный период.

Произведенный анализ формы сигналов ЕИЭМП не позволил однозначно ответить на вопрос какова форма импульсов, происшедшими литосферной группе сигналов, возбуждаемых в районе расположения антенн. Однако в настоящее время ясно, что нет каких-либо принципиальных трудностей для более или менее неискаженной регистрации единичного атмосферика или определения направления его прихода и расстояния до источника. Подобные работы уже начаты [66].

Проведенные работы показывают, что возможные аномалии в ЕИЭМП могли быть связаны с изменением параметров волновода Земля - ионосфера. Именно это явилось предметом дальнейших исследований.

4.3. Методика отбора данных для анализа связей аномалий ЕИЭМП с сейсмичностью.

В параграфе 4.1. рассматривались физические причины несейсмической природы, которые могли влиять на возмущения регулярного хода ЕИЭМП. Оказывается, что для выделения возмущений ЕИЭМП сейсмической природы необходим прежде всего контроль за близкой грозовой активностью, техногенными факторами и пургой. Проанализированный таким образом ход ЕИЭМП с возможными причинами его возмущений мог в дальнейшем использоваться для сопоставления связи аномалий с сейсмическими процессами.

Отбор для сопоставления сейсмических данных проводился с учетом следующих обстоятельств. В первую очередь отбирались события, происшедшие в зоне проявления деформационных предвестников, т.е. в радиусе $R = e^M$ км [271], где M - магнитуда события. Кроме того, рассматривались события в смежных регионах, если им предшествовали резко аномальные возмущения ЕИЭМП. Список отобранных таким образом сейсмических событий приведен в таблице 4.3.1. В ней указаны также координаты и время события, его магнитуда и глубина. Отмечено существование или отсутствие возмущений ЕИЭМП, предшествующих землетрясениям. На рис. 4.3.1. показана карта расположения эпицентров событий относительно основных разломов.

Подчеркнем два обстоятельства, используемые при отборе и анализе материала. Первое обстоятельство связано с выбором для анализа периода времени, предшествующего землетрясениям. Исходя из моделей источников электромагнитных предвестников, возмущения ЕИЭМП могли быть связаны с заключительной стадией подготовки землетрясения- фазой разрушения [207, 209]. С учетом данных по периодам возбуждения краткосрочных деформационных предвестников (наклоны и деформации, нарушения гидрогеохимического режима и др.) интервал анализа связи

возмущений ЕИЭМП с сейсмическими событиями выбран в 4-5 суток до землетрясения. Второе обстоятельство касается определения минимального энергетического класса событий. Были выбраны для анализа события с магнитудой, большей 4 (класса ~ 11.6). При этом имелись в виду положения современных моделей (см 1.7, гл. I), в которых именно при подготовке событий с магнитудой, больше 4, возможны процессы, приводящие к возбуждению источников электромагнитных предвестников в приповерхностном слое земной коры и верхней атмосфере (нижней ионосфере).

За период 1978-81 г.г. было отобрано 25 сейсмических событий, во время проявления которых факторы метеорологической или космической природы отсутствовали. В 15 случаях были выделены перед землетрясениями аномалии в регулярном ходе ЕИЭМП. Причем в 7 случаях наблюдения проводили в зоне возможных проявлений эффектов деформационной природы, т.е. в зоне подготовки землетрясений.

Таблица 4.3.1

№	Число	Месяц	Координаты эпицентра $\varphi^0 N$ λ		Время Ут ч., м	М	R, км	R _д , км	Названия землетрясений	Эф- фект
1978 г.										
1	17	02	43,1	78,1	00-35	4,4	70	78	-	+
2	12	03	42,0	79,8	08-29	5,6	135	256	-	-
3	24	03	42,0	79,8	21-05	6,1	55	420	Жаланаш-Тюпское	+
4	14	04	41,2	75,3	06-11	4,4	295	78	-	+
5	25	04	43,8	76,7	03-33	4,4	150	78	-	-
6	16	09	33,2	57,5	15-35	7,2	200 0	125 0	Иранское	+
7	8	10	39,2	74,4	14-20	6,1	700	420	-	-
8	19	10	39,9	76,8	16-08	4,4	312	78	-	-
9	1	11	39,2	72,36	19-18	6,7	600	760	Алайское	+
10	2	11	39,26	72,30	06-24	5,6	600	256	Алайское	+
1979 г.										
11	6	04	42,0	77,5	18-30	5	105	140	Барскаунское	+
12	9	05	42,1	79,1	18-41	5	75	140	-	+
13	22	05	42,1	75,9	14-48	4,4	200	78	-	-
14	7	09	41,5	75,2	15-39	4,4	235	78	-	+
15	25	09	45,0	77,0	13-05	5,6	320	256	Баканасское	+
16	15	11	41,4	72,68	01-33	4,4	487	78	-	+

1980 г.										
17	15	02	41,0	78,8	09-09	4,4	160	78	-	+
18	16	03	41,6	75,7	01-44	4	320	60	-	-
19	19	03	41,2	75,2	00-42	4,4	280	78	-	+
20	5	07	41,9	77,5	20-25	5,6	118	256	Барскаунское	+
21	4	09	44,3	79,13	06-47	4,4	200	78	-	-
22	31	07	39,30	74,48	19-03	5,3	450	140	-	+
1981 г.										
23	3	03	39,19	72,36	05-52	6,1	625	300	-	-
24	23	04	40,0	75,6	09-47	4,6	357	80	-	-
25	30	08	42,9	78,45	04-04	4,6	75	80	-	-

R – эпицентральное расстояние для ст. «Пржевальск»,

R_д - зона проявления деформационных предвестников

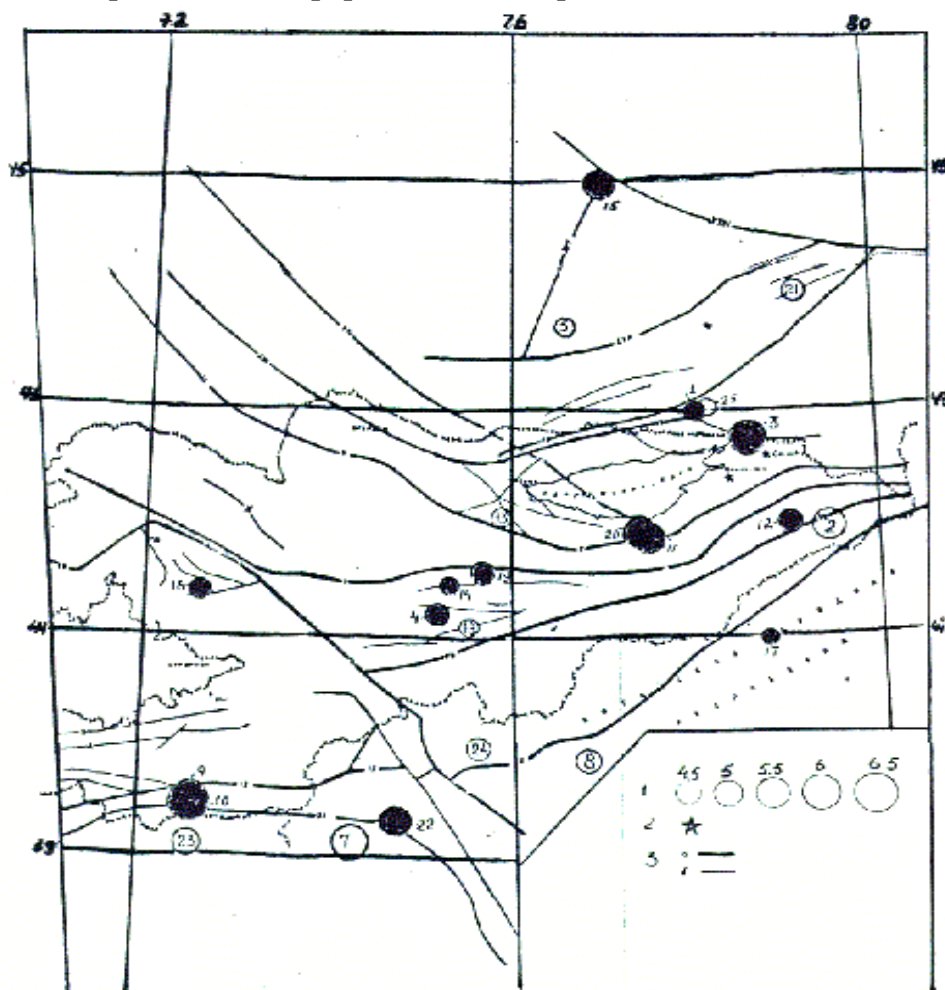


Рис. 4.3.1. расположение эпицентров землетрясений относительно разломов:

- – сопровождалась эффектами в ЕИЭМП,
- – эффекты отсутствовали;

I – магнитуда, 2 – место регистрации ЕИЭМП, 3 – а – важнейшие глубинные разломы, б – прочие разломы; II – важнейшая структурная линия Тянь-Шаня, III – Таласо-Ферганский, IV – Фергано-Атойнокский, V – Ичкелетау-Сусамырский, VI – Центрально-Терскайский, VII – Чилико-Кеминский, VIII – Атбашина-Иныльчекский, IX – Карасуйский, X – Гиссаро-Кокшаальский, X-XI – Южно-Ферганский, XI – Дарваз-Каракульский, XII – Каракойунский, XIII – Чуйский, Джалаир-Кайманский, XIV – Транс-Иссык-Кульский, XV – Центрально-Казахстанский, XVI – Эмельский, XVII – Южно-Джунгарский

4.4. Сопоставление аномалий ЕИЭМП сейсмичностью.

4.4.1. Особенности возмущений хода ЕИЭМП, регистрируемые в зоне подготовки землетрясений.

Землетрясение N 1 (здесь и далее нумерация сейсмических событий следует таблице 4.3.1, а на рисунках суточные хода ЕИЭМП и моменты событий даны по местному времени). Динамика изменения суточного хода представлена на рис. 4.4.1. На рис. 4.4.1а показан суточный ход ЕИЭМП в период с 13 по 19 февраля 1978г. Особенности суточного хода ЕИЭМП в направлении запад- восток для отобранных спокойных суток видны на рис. 4.4.1б. Там же даны среднемесячный суточный ход и его стандартные отклонения. Как видно, возмущения уровня ЕИЭМП перед землетрясением превышают средние значения на величину, большую двух стандартных отклонений. Причем особенностью этого случая являются отсутствие нарушения регулярности суточного хода и существенное увеличение интенсивности ночного максимума.

Землетрясение N3- Жаланащ-Тюпское. Эпицентр основного толчка располагался вблизи пересечения Северного Ак- Суйского и Южно-Карасуйского разломов. Землетрясение ощущалось в г. Пржевальске с силой 6-7 баллов, г. Алма-Ате- 5-6 баллов, г. Бишкеке 4-5 баллов. Наиболее сильный афтершок с этими же координатами произошел 26 марта 1978 г. (магнитуда 4.4, R= 55 км.). Он также находился в зоне проявления деформационных предвестников. Пункт регистрации оказался фактически в центре эпицентрального района.

На рис. 4.4.2а. даны суточные хода ЕИЭМП в направлениях запад - восток и север-юг в период с 16 по 29 марта 1978г. Здесь особенности суточного хода проявились начиная с 16 марта. С 16 по 18 марта была нарушена естественная регулярность суточного хода ЕИЭМП - максимум ЕИЭМП наблюдался днем, причем особенностей в различных направлениях регистрации не выделено. 20-21 марта суточный уровень

поля был наименьший за март месяц, включая и ночное время. Затем регулярность суточного хода восстановилась, причем отмечается значительное повышение ночного уровня поля, достигающее максимального значения за март.

На рис. 4.4.2в. приведены хода метеорологических факторов и вариации магнитного поля в период с 16 по 29 марта. Как видно, эти параметры были не возмущены до землетрясений. Умеренная магнитная буря началась 26 марта ($H = 141\gamma$) Однако это практически не отразилось на ходе ЕИЭМП.

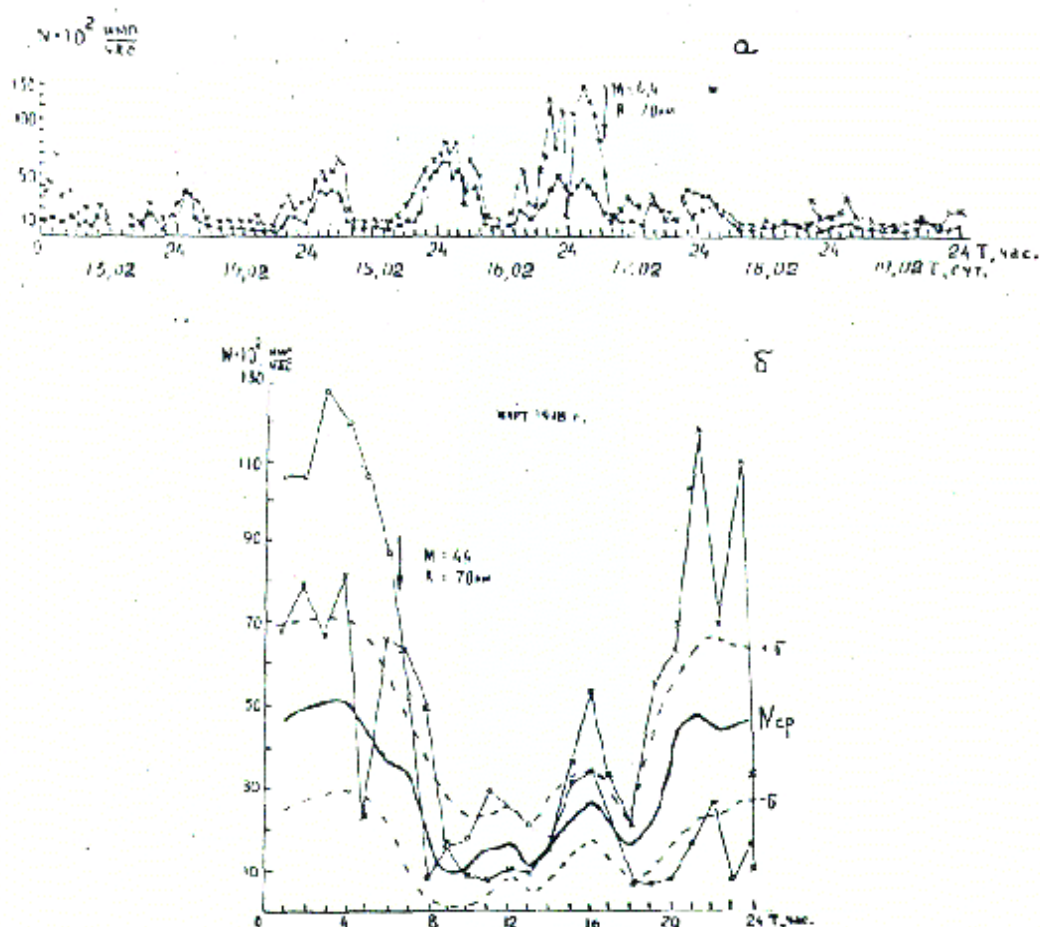


Рис. 4.4.1. Аномальные изменения ЕИЭМП по двум составляющим перед землетрясением 17.02.1978 г. на ст. Пржевальск 9а), общая картина изменения суточного хода ЕИЭМП за февраль 1978 г. (б).

Сплошная линия — среднемесячный суточный ход, $\pm \delta$ — среднеквадратичные отклонения от среднемесячных значений N_{cp} х-х — 16.02.1978 г., 0-0 — 17.02.1978 г.

Стрелковой обозначен момент землетрясения.

Общая картина изменения суточного хода за март месяц показана на рис. 4.4.3. Значимость возмущений ночного максимума в период с 22 на 23 марта можно оценить в сравнении со среднемесячным суточным ходом и

его стандартным отклонением.

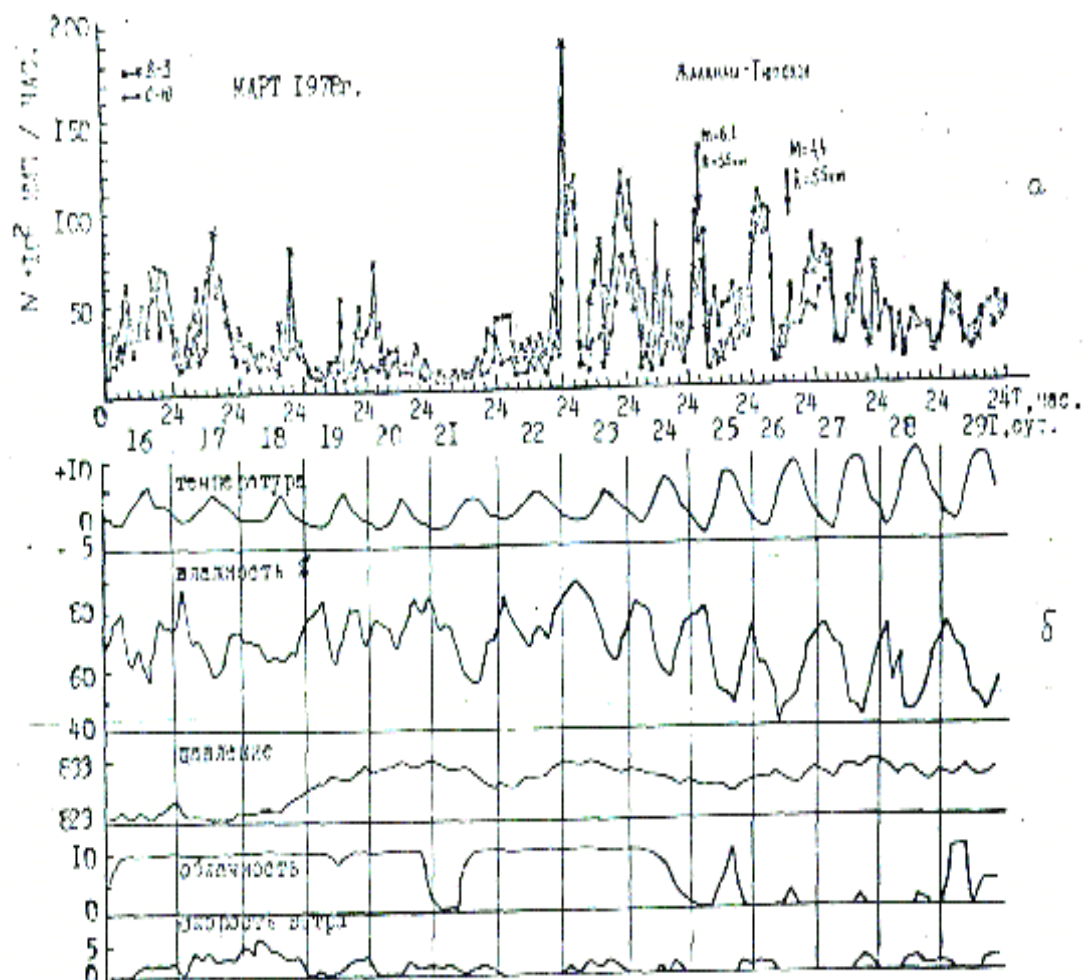
Для этого землетрясения, регистрация которого осуществлялась непосредственно в эпицентральной зоне, можно отметить отсутствие всплеска ЕИЭМП в акте разрушения, что является существенным для построения моделей источников возмущения ЕИЭМП.

Землетрясения N 9 и 10.- Алайские. Обращает на себя внимание синхронность суточного хода ЕИЭМП в двух направлениях регистрации (рис. 4.4. 4a). Регулярность суточного хода была нарушена в течении суток. На рис. 4.4.4 приведено сопоставление суточного хода ЕИЭМП, зарегистрированных в г. Пржевальске (а), с временными изменениями естественного электромагнитного излучения в Ташкенте(б) , Андижане(в) и Семипалатинске (г) при Алайском землетрясении, по данным [71]. Ниже приведены вариации магнитного поля за этот же период. Как видно из рисунка, уменьшение или « замирание» ЕИЭМП перед событием наблюдаются на всех станциях, кроме Семипалатинска. Однако начало "замирания" несколько сдвинуто относительно данных по Пржевальску. В период регистрации магнитное поле было спокойным, а короткая умеренная ($H = 110\gamma$) магнитная буря, происшедшая 30 октября 1978г., не вызвала возмущения ЕИЭМП.

Землетрясение N11- Барскаунское. На фоне спокойного, но в отдельные дни неустойчивого суточного хода произошло резкое его искажение за 12 часов до землетрясения (рис 4.4.5a) Обращает на себя внимание синхронность возмущения поля в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. В момент землетрясения всплеска ЕИЭМП не выделено. На рис. 4.4.5.в. представлена значимость возмущений на фоне среднемесячного суточного хода и его стандартного отклонения.

Землетрясение N 20- Барскаунское. Суточные хода ЕИЭМП в течение июня и июля были достаточно регулярными и спокойными. На рис. 4.4.6. показан среднемесячный суточный ход ЕИЭМП и его стандартное отклонение в июле 1980г. Примерно за 15 часов события уровень поля резко увеличился в двух направлениях (рис. 4.4.6.а.) Регулярность суточного хода была несколько нарушена тем, что интенсивность ЕИЭМП стала резко увеличиваться в утренние часы, а не в послеполуденного время. Однако максимум ЕИЭМП 5 июля значительно превосходил уровень июля в остальные дни июня и июля месяцев. В акте землетрясения уровень поля не возростал. Землетрясение было приурочено к Терсакейско-Таласскому разлому. Отметим, что морфология

Ход магнитного поля (рис. 4.4.5.б.) перед землетрясением 1979 г. был возмущен магнитными бурями ($H = 192\gamma$), а перед землетрясением 1980 г. магнитное поле было спокойно. Как видно из рис. 4.4.5, магнитная буря вызывала возмущения поля ЕИЭМП.



155

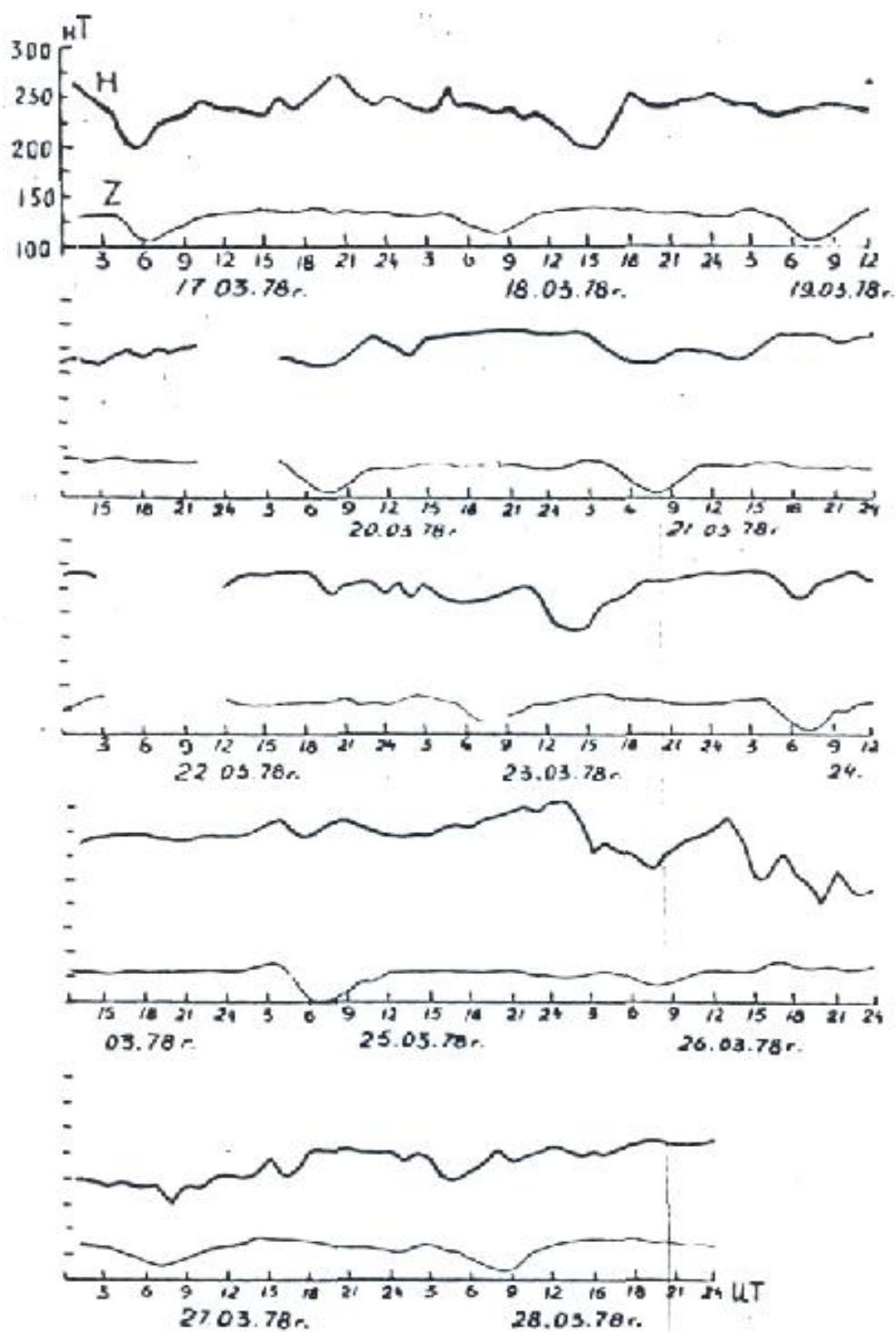


Рис. 4.4.2. в. Изменения магнитного поля по H и Z компонентам в период с 17 по 28 марта 1978 г. на obs. Алма-Ата

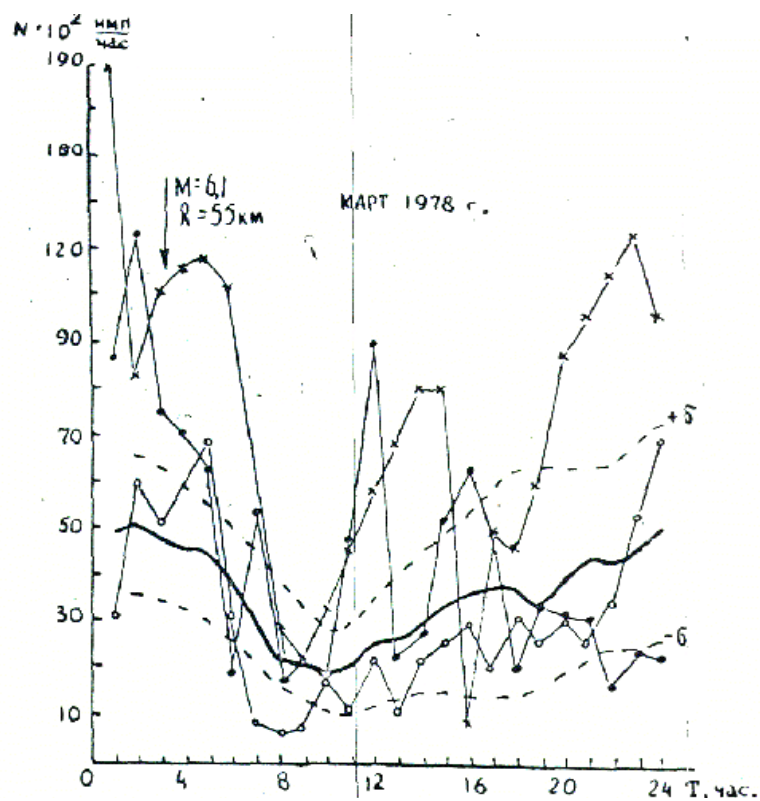
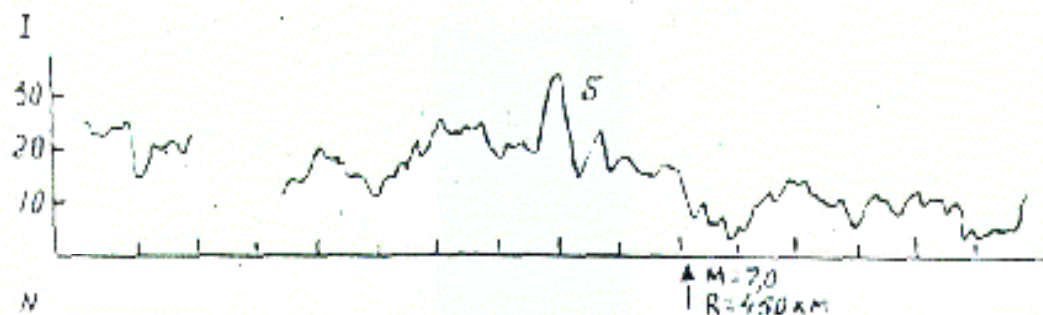
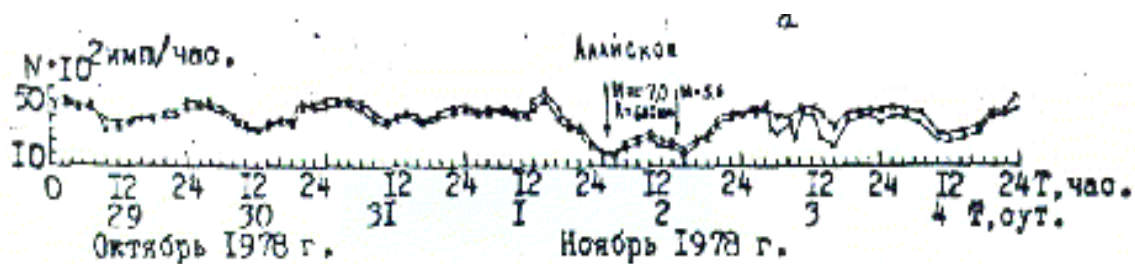


Рис. 4.4.3. Общая картина изменения суточного хода ЕИЭМП за март 1978 г. Сплошная линия – среднемесячный суточный ход, ± 5 – среднеквадратические отклонения от среднемесячных значений
 X—X—23. III,
 •—•—24. III,
 0—0—25. III.



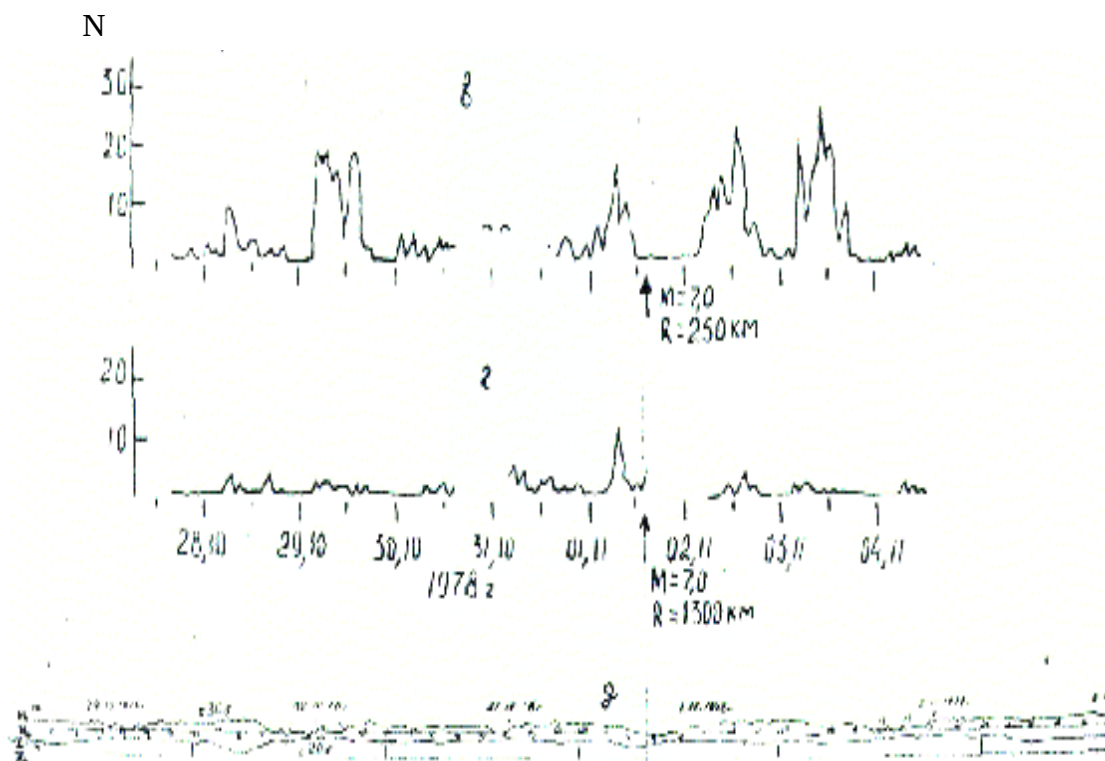
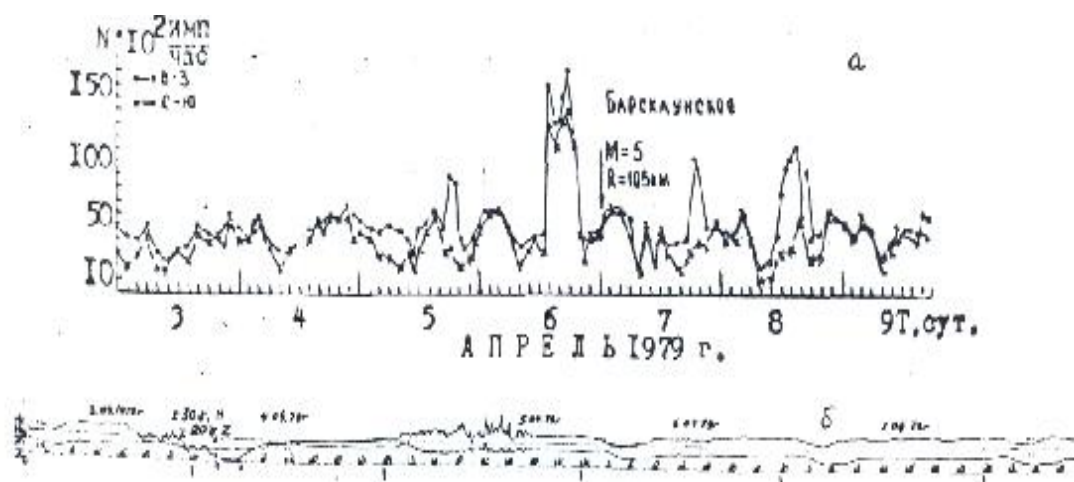


Рис. 4.4.4. Графики временных изменения ЕИЭМП в Пржевальске (а), ташкенте (б), Андижане (в), Семипалатинске (г) и магнитного поля на обс. Алма-Ата (д) при Алайском землетрясении. Стрелками обозначен момент землетрясения (б, в г) – по данным [71].



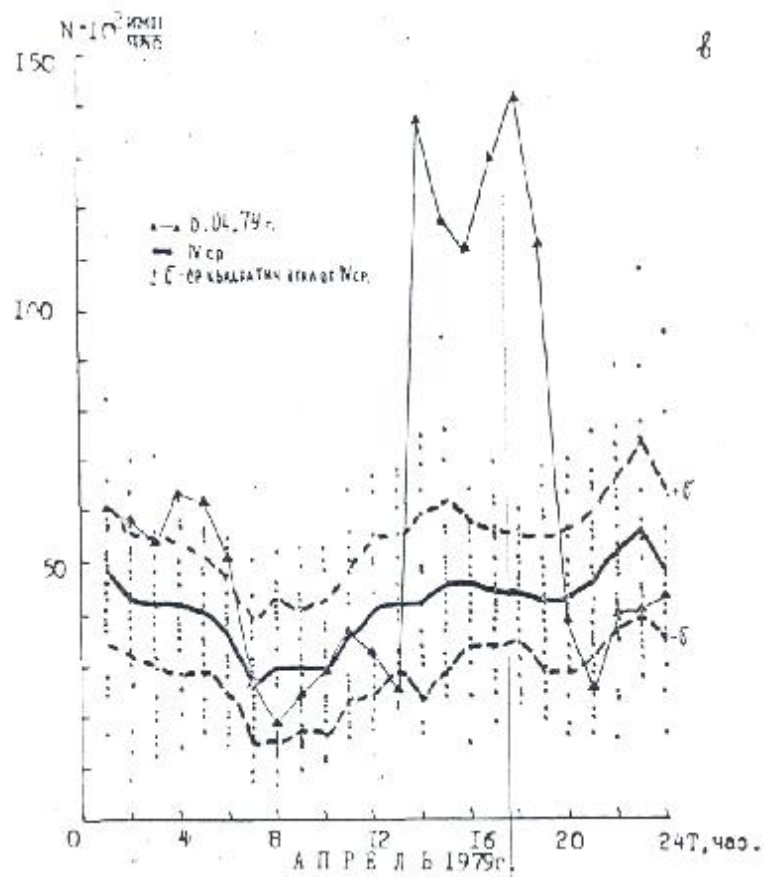
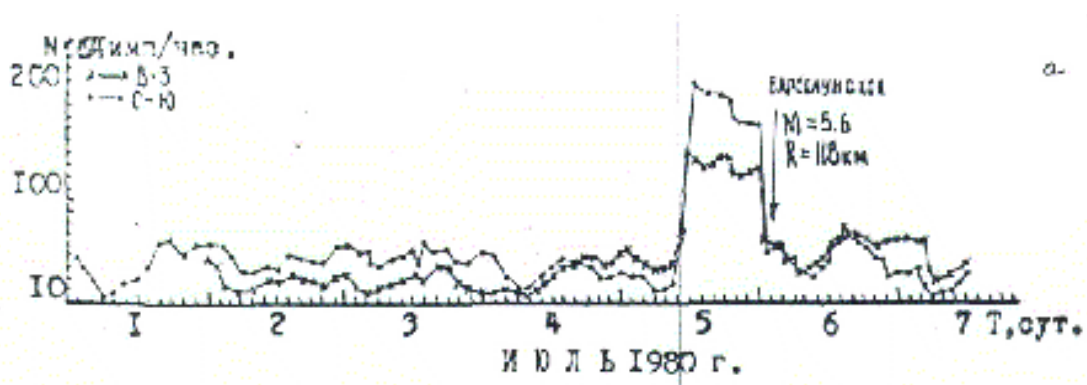


Рис. 4.4.5. Суточные хода ЕИЭМП в период с 3 по 9 апреля 1979 г. (а), изменения магнитного поля по H и Z компонентам за этот период (б), общая картина изменения суточного хода ЕИЭМП (в) за апрель. Сплошная линия – среднемесячный суточный ход. Точками даны текущие часовые значения N для суток, участвующих в статистике.



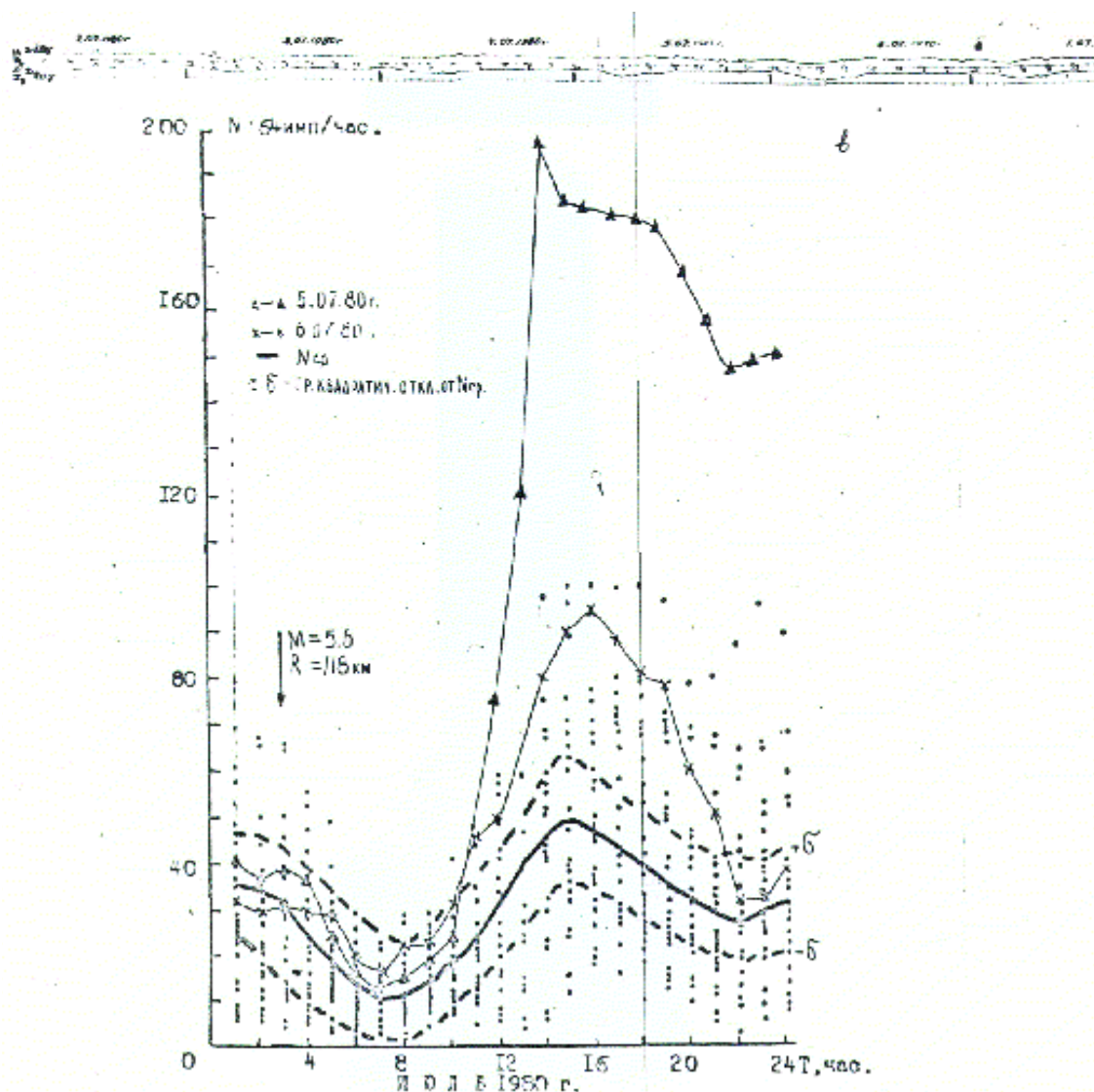


Рис.4.4.6. Суточные хода ЕИЭМП в период с 1 по 7 июля 1980 г. (а), изменения магнитного поля по Н и Z компонентам за этот период (б), общая картина изменения суточного хода ЕИЭМП (в) за апрель. Сплошная линия – среднемесячный суточный ход. Точками даны текущие часовые значения N для суток, участвующих в статистике.

4.4.2 Возмущения хода ЕИЭМП регистрируемых вне зоны подготовки землетрясений

Землетрясение N4 Событие не сильное. Регистрация осуществлялась далеко за пределами возможной зоны подготовки ($R=78 \text{ км.}$) Эпицентр землетрясения находился в разломной зоне.

В целом суточные хода за апрель были неустойчивыми, что могло быть связано с переходным сезонным периодом. Примерно за сутки до события регулярность хода ЕИЭМП была нарушена, а непосредственно за

6 часов до землетрясения наблюдался минимум уровня поля (рис. 4.4.7) Причем возмущения были идентичными и синхронны для обоих направлений.

Землетрясение N14- 7 сентября 1979г. На фоне в целом спокойного суточного хода ЕИЭМП произошло синхронное возрастание его уровня на двух станциях регистрации (Пржевальск и Соколовка) за три-четыре часа до события (рис.4.4.8.). Это единственный случай, когда землетрясение произошло в период максимума возмущения. Период возмущения поля сохранялся длительное время и после землетрясения. Магнитное поле было спокойным . Значимость суточных возмущений поля показана на рис. 4.4.9 в сравнении со среднемесячным суточным ходом и их стандартными отклонениями.

Землетрясение N15- Баканасское. Регистрация поля велась на двух станциях. В целом суточные хода на этих станциях были идентичны (рис. 4.4.10.а,б). Перед землетрясением были искажения регулярности суточного хода, в то же время сильные возмущения поля наблюдались в течение нескольких суток и после события. Эти данные подтверждаются результатами измерений ЕИЭМП на Алма- Атинском полигоне (рис. 4.4.10.в) . Следует отметить , что возмущения поля перед Баканасским землетрясением по измерениям в Пржевальске и Алма-Ате были не синхронны. Магнитное поле было спокойным (рис 4.4.10.б).

Землетрясение N 6 - Иранское. Данные по этому событию представляют особый интерес, связанный не только с особенностями зафиксированных возмущений ЕИЭМП , но и также с тем что ранее проводились данные по возмущениям поля перед этим землетрясением [30]. Результаты регистрации представлены на рис. 4.4.11. На фоне спокойного суточного хода в направлении восток- запад произошли два исключительно интенсивных "всплеска" поля. Причем перед вторым "всплеском" наблюдался абсолютный минимум ЕИЭМП в период август-сентябрь. Отличительной особенностью возмущения являлось то, что минимум приходился на ночной период. Магнитное поле было спокойным. Приведенные данные существенно отличаются от результатов работы [30] (рис. 4.4.11.б), где наблюдалось увеличение интенсивности ЕИЭМП за 55 минут до землетрясения.

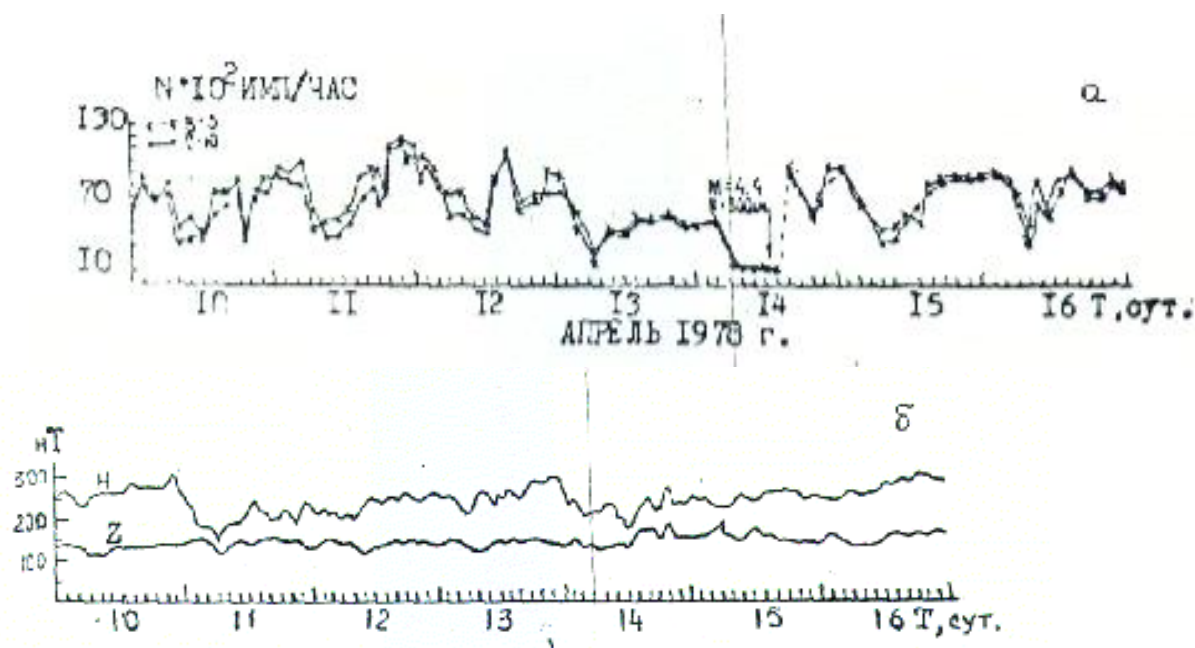


Рис. 4.4.7. Суточные хода ЕИЭМП в направлениях В-З и С-Ю в период с 10 по 16 апреля 1978 г. (а), изменения магнитного поля за этот период на осб. Алма-Ата (б). Стрелка – момент землетрясения.

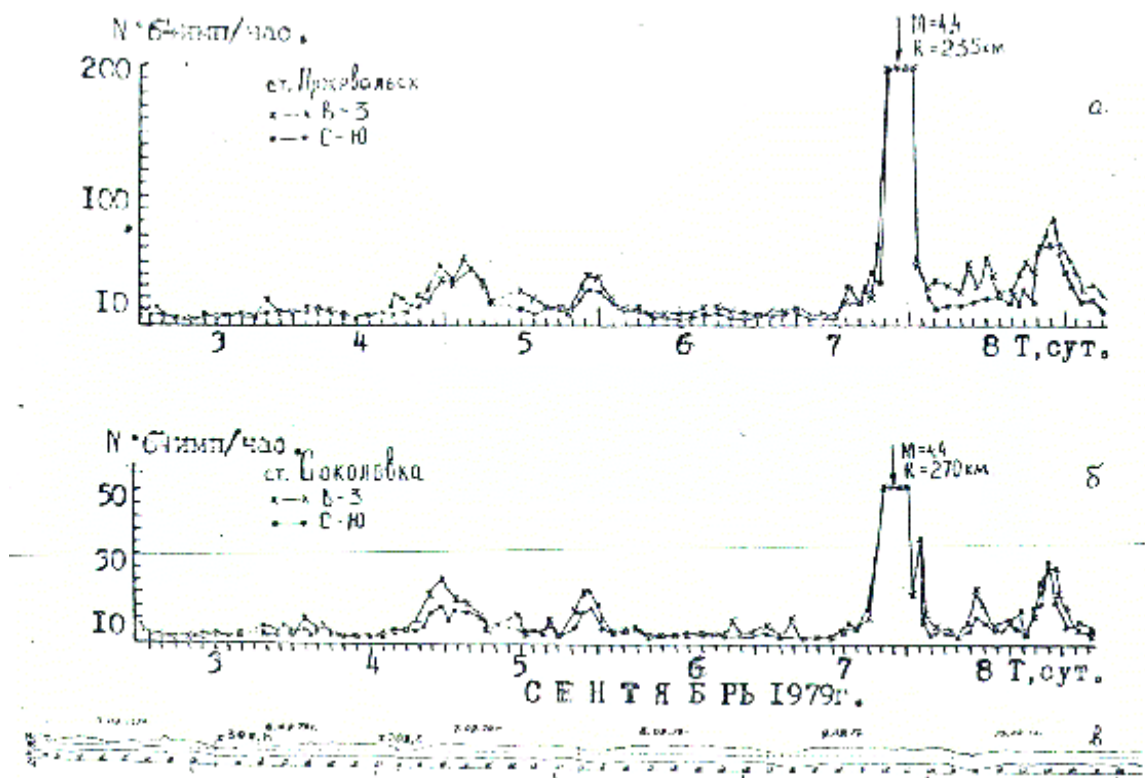


Рис. 4.4.8. Суточные хода ЕИЭМП в направлениях В-З и С-Ю в период с 3 по 8 сентября 1979 г. по станциям Пржевальск (а) и Соколовка (б), изменения магнитного поля по Н и Z компонентам за этот период (в). Стрелка – момент землетрясения.

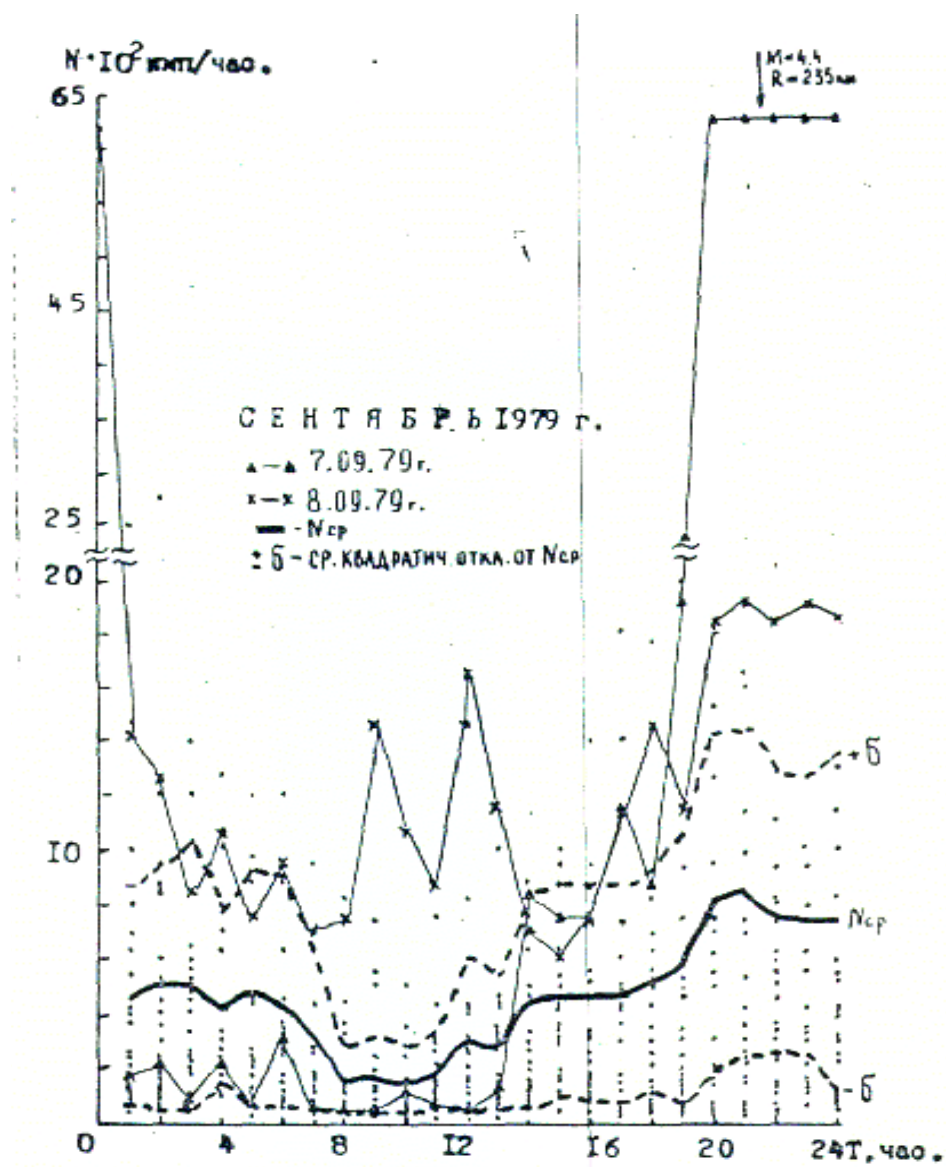


Рис. 4.4.9. Общая картина изменения суточного хода ЕИЭМП за сентябрь 1979 г. Сплошная линия – среднемесячный суточный ход. Точками даны текущие часовые значения N для суток, участвующих в статистике.

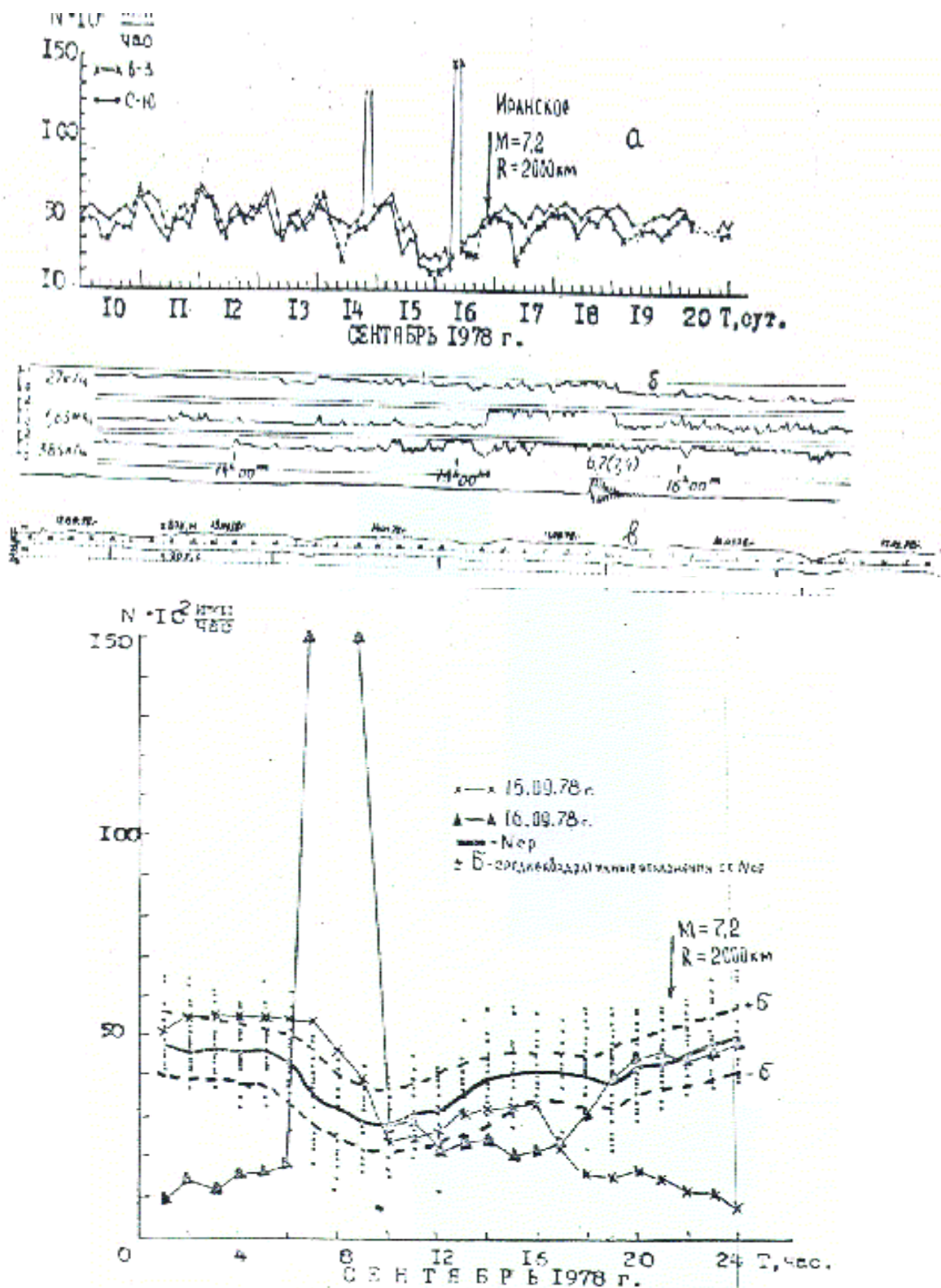


Рис. 4.4.11. Графики временных изменений ЕИЭМП в Пржевальске (а), на Кавказе (б) /по 30/ и магнитного поля (в) (обс.Алма-Ата) при Иранском землетрясении. Стрелка – момент землетрясения. Ниже – общая картина изменения суточного хода ЕИЭМП в Пржевальске за сентябрь 1978 г. Сплошная линия – среднемесячный суточный ход, $\pm \sigma$ – среднеквадратические отклонения от среднемесячных значений. Точками даны текущие часовые значения N для суток, участвующих в статистике

4.4.3. Отсутствие выраженных возмущений ЕИЭМП перед землетрясениями и возмущения поля в отсутствии землетрясений

Перед целым рядом землетрясений выделить возмущения поля было трудно. Для этих случаев считали, что возмущения отсутствовали (см. Таблицу 4.3.1.) Приведем характерные примеры.

Землетрясение N2. Регистрация поля осуществлялась в зоне подготовки землетрясения, а сам акт землетрясения ощущался в районе станции наблюдения. Суточные хода показаны на рис. 4.4.12. Ярко выраженных возмущений поля нет. Однако можно указать на кратковременное искажение суточного хода в ночное время 11 марта 1978г.

Землетрясение N5. Регистрация поля проводилась вне зоны подготовки землетрясения. Землетрясение слабое, произошло в период сезонного перехода. За двое суток перед землетрясением был нарушен суточный ход в ночное время (рис. 4.4.13.) Это нарушение произошло в ночь с 22 на 23 апреля 1978г. Значительных колебаний уровня ЕИЭМП не отмечено, в сравнении со средним месячным ходом.

Землетрясение N25. По наблюдениям на станциях "Пржевальск" и "Соколовка" каких-либо аномалий не выделено (рис. 4.4.14) Последний пример. Ярко выраженная многосуточная аномалия хода ЕИЭМП по одной из станций (рис. 4.4.15) Землетрясения отсутствовали. В то же время идентифицировать эту аномалию с метеорологическими или космическими факторами не удалось. Эта аномалия не была связана и с промышленными помехами.

4.4. Результаты исследований ЕИЭМП методом огибающего сигнала на частоте 17.8 кГц.

Как было указано в главе III п. 3.2 метод регистрации огибающей сигнала ЕИЭМП позволит исследовать амплитудно-частотные характеристики сигнала и их эволюции во времени, а также позволит получить важные сведения о характере аномального ЕИЭМП непосредственно перед землетрясением.

Обработка получаемых данным методом огибающего производилась ежесуточно и ежемесячно. Ежесуточная обработка включала в себя оцифровку записей с самописца с шагом 20 минут, составление таблицы и графика. При ежемесячной обработке находились среднемесячные часовые значения и их среднеквадратичные отклонения.

Графики среднемесячного суточного хода непосредственно полученных данных и их среднеквадратичных отклонений за 1989 год представлены на рис. 4.5.1., за 1990 г. - на рис. 4.5.2.. Как видно из графиков, на суточный ход сильно сказывается влияние сигналов

радиостанций. За период наблюдений радиостанции не имели постоянный

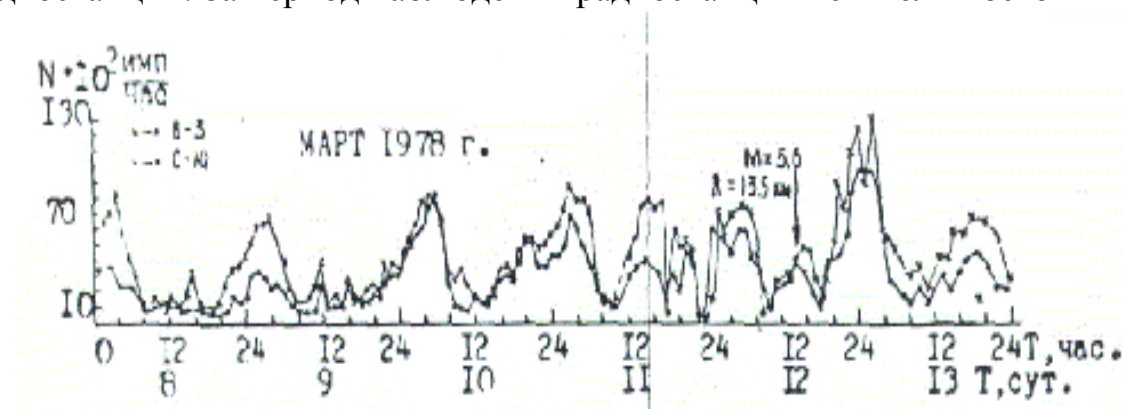


Рис. 4.4.12. Суточные хода ЕИЭМП в направлениях В-З и С-Ю в период с 8 по 13 марта 1979 г. Стрелка – момент землетрясения.

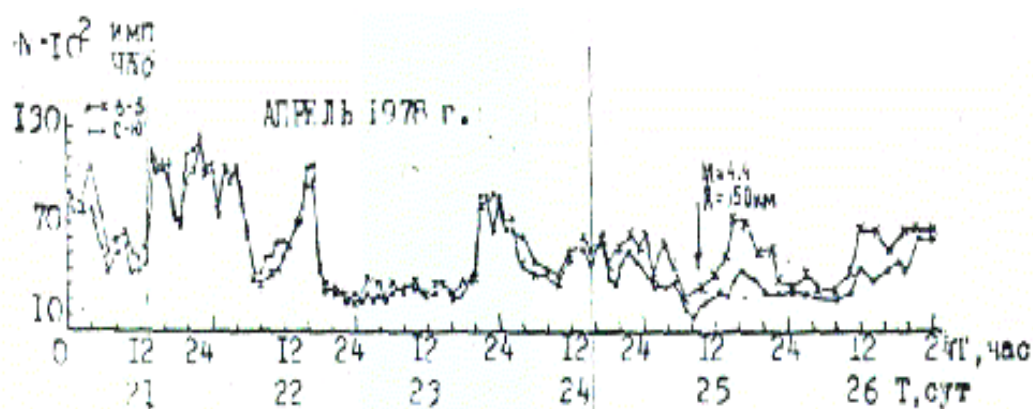


Рис. 4.4.13. Суточные хода ЕИЭМП в направлениях В-З и С-Ю в период с 21 по 26 апреля 1978 г. Стрелка – момент землетрясения.

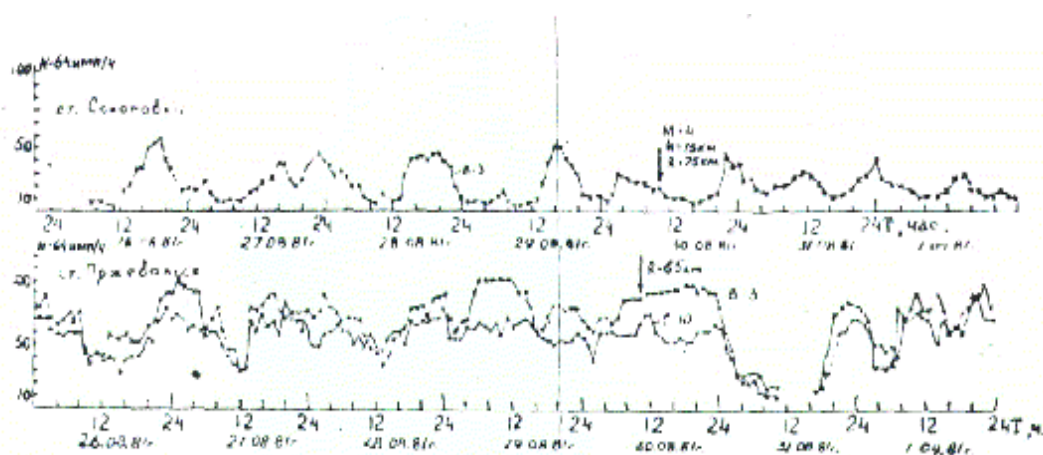


Рис. 4.4.14. Суточные хода ЕИЭМП в направлениях В-З и С-Ю в период с 26 августа по 1 сентября 1981 г. Стрелка – момент землетрясения.

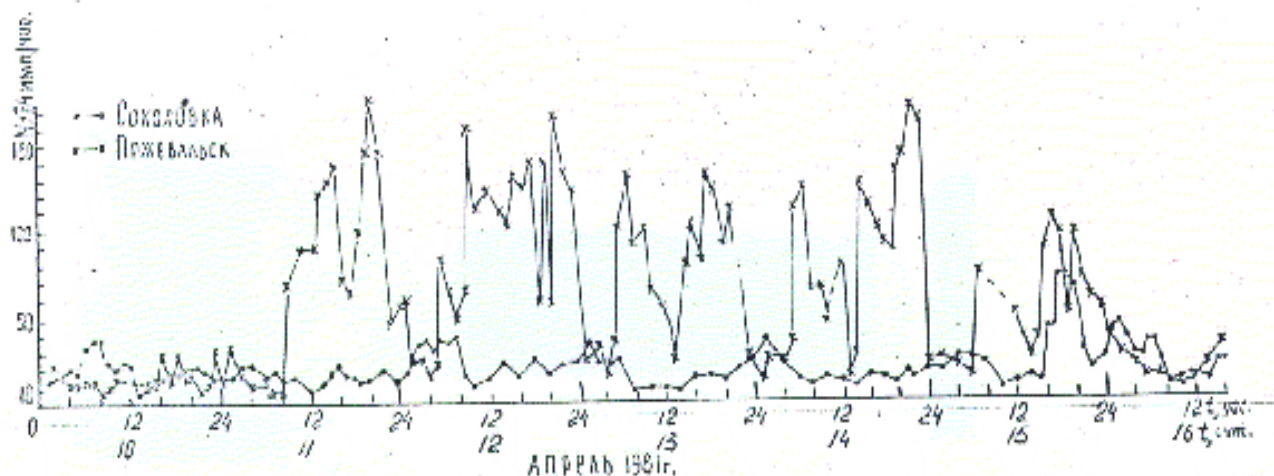


Рис. 4.4.15. суточные хода ЕИЭМП в период с 10 по 15 апреля 1981 г и станциям «»

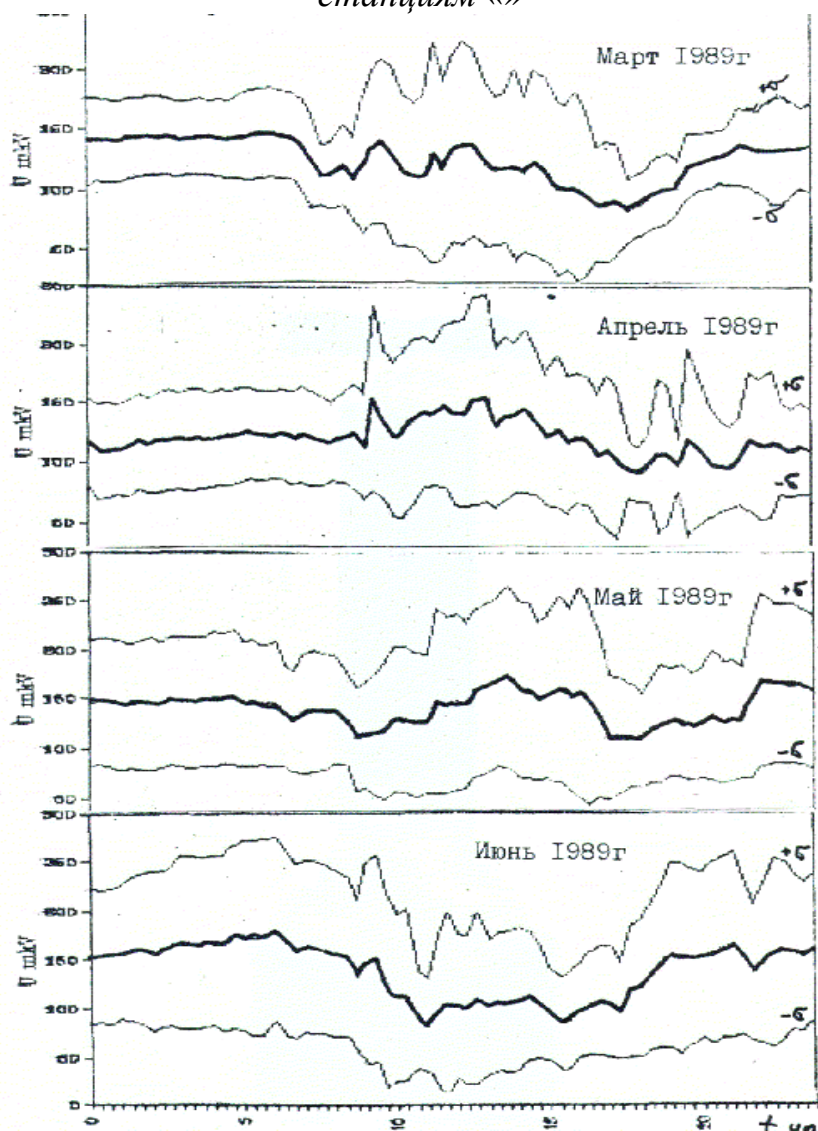


Рис. 4.5.1. Графики среднемесячных суточных ходов ЕИЭМП и их среднеквадратичных отклонений за 1989 г. учетом работы радиостанций.

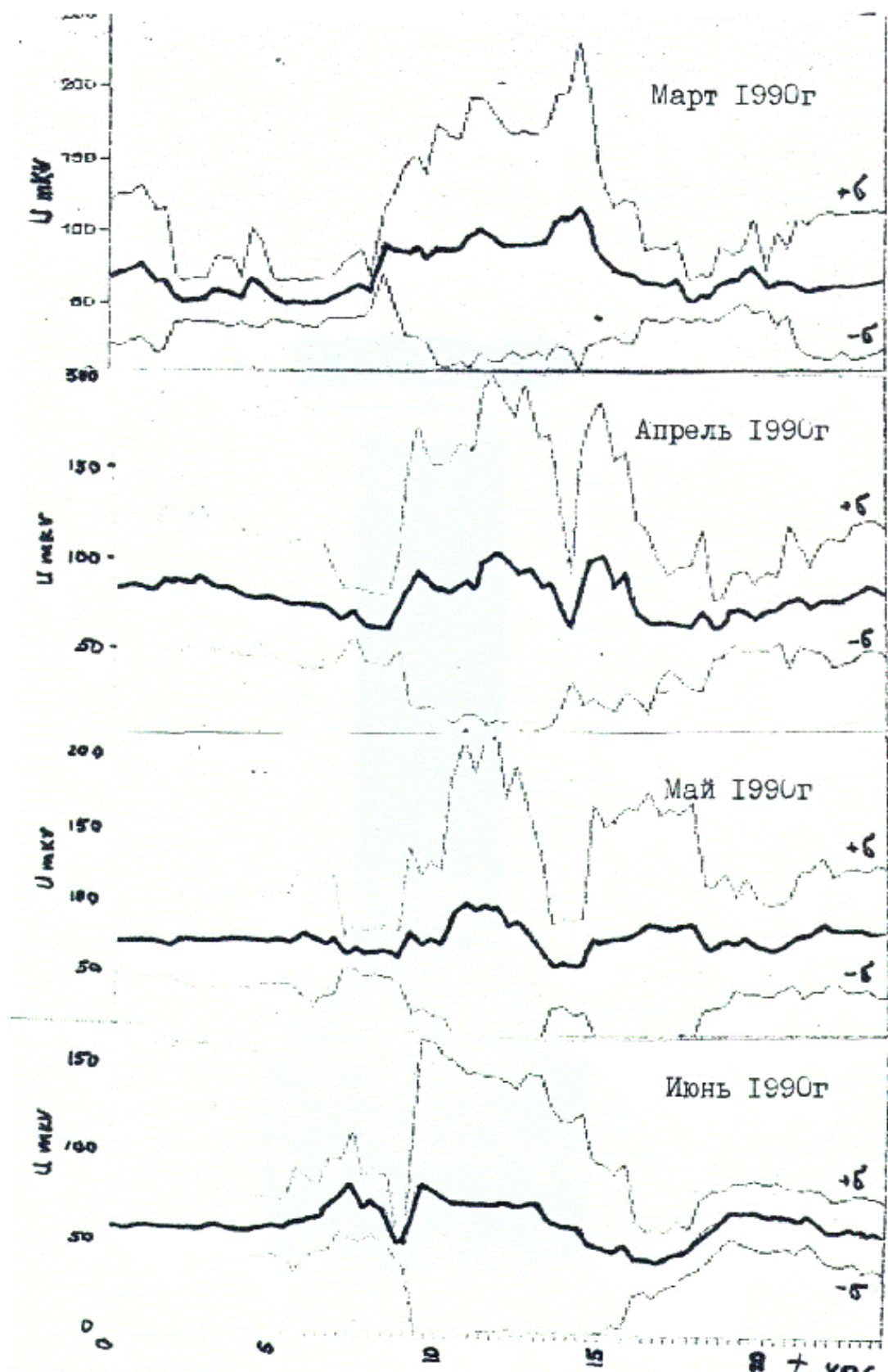


Рис. 4.5.2. Графики среднемесячных суточных ходов ЕИЭМП и их среднеквадратичных отклонений за 1990 г. учетом работы радиостанций.

график работы. Работа радиостанции фиксировалась до 10 раз в месяц, в

основном, в дневное время, редко в вечерние часы. Это сказалось на среднемесячном суточном ходе - дневной уровень огибающей напряженности ЕИЭМП сопоставим с вечерним, а иногда и превышает его. Нерегулярность появления сигналов радиостанций вызвала увеличение дисперсии среднемесячных часовых значений в дневное время.

Графики среднемесячного суточного хода и их среднеквадратичное отклонение за 1989-1990 гг. без учета работы радиостанций представлены на рис. 4.5.3. - 4.5.4. В этом случае дневной уровень интенсивности ЕИЭМП стал ниже ночного, наблюдаются утренние и вечерние минимумы. Полученные среднемесячные суточного хода интенсивности ЕИЭМП хорошо коррелируются с суточным ходом зарегистрированных напряженностей поля РНС "Омега" на весьма длинных трассах [272, 273]. Одним из объяснений этому может служить следующее. Как известно, естественное ЕИЭМП формируется в основном в следствии мирового грозового процесса и, вероятно, глобальные условия распространения радиоволн по своей природе идентичны с отдельно взятым трассовым условием распространения.

Сезонные изменения представлены графиками средне сезонных суточного хода и их среднеквадратичными отклонениями (рис. 4.5.5.). В зимнее и весеннее время ночные и дневные уровни сопоставимы между собой, причем в зимнее время наблюдаются увеличение дисперсии часовых значений уровня ЕИЭМП.

В осеннее и летнее время ночные уровни напряженности ЕИЭМП выше дневных. В летнее время дополнительно появляется дневной максимум, очевидно, связанный с увеличением грозовой деятельности.

На рис. 4.5.6 показан график среднесуточных изменений поля с марта по сентябрь месяц 1989 г. (верхний график). Здесь видно постепенное увеличение общего уровня интенсивности ЕИЭМП к осеннему сезону. Спектральный анализ осредненного суточного хода (рис. 4.5.7.), выполненный с целью выделения регулярных вариаций уровня поля показал близкое подобие в распределении спектральной плотности огибающей поля естественного ЕИЭМП в СДВ диапазоне и сигналов РНС "Омега" [272]. Наибольшую интенсивность имеют гармоники 24 часов и 6 часов. Пики меньшей интенсивности имеют периоды 3, 6 часа и 2, 3 часа. При соответствующем приближении их можно рассматривать как 3-х и 2-х составляющие основной 24-х часовой гармоники.

Для устранения медленных трендов и для рассмотрения более высокочастотных составляющих, ряд среднемесячных суточных значений, с марта по сентябрь 1989 года, был пропущен через фильтр скользящего среднего с полугауссовским окном. Этот фильтр убирает низкочастотную составляющую. Результат фильтрации показан на рис.4.5.6 (нижний график). В спектре отфильтрованного ряда (рис.4.5.8.) появляется гармоника, имеющая период 21ч.

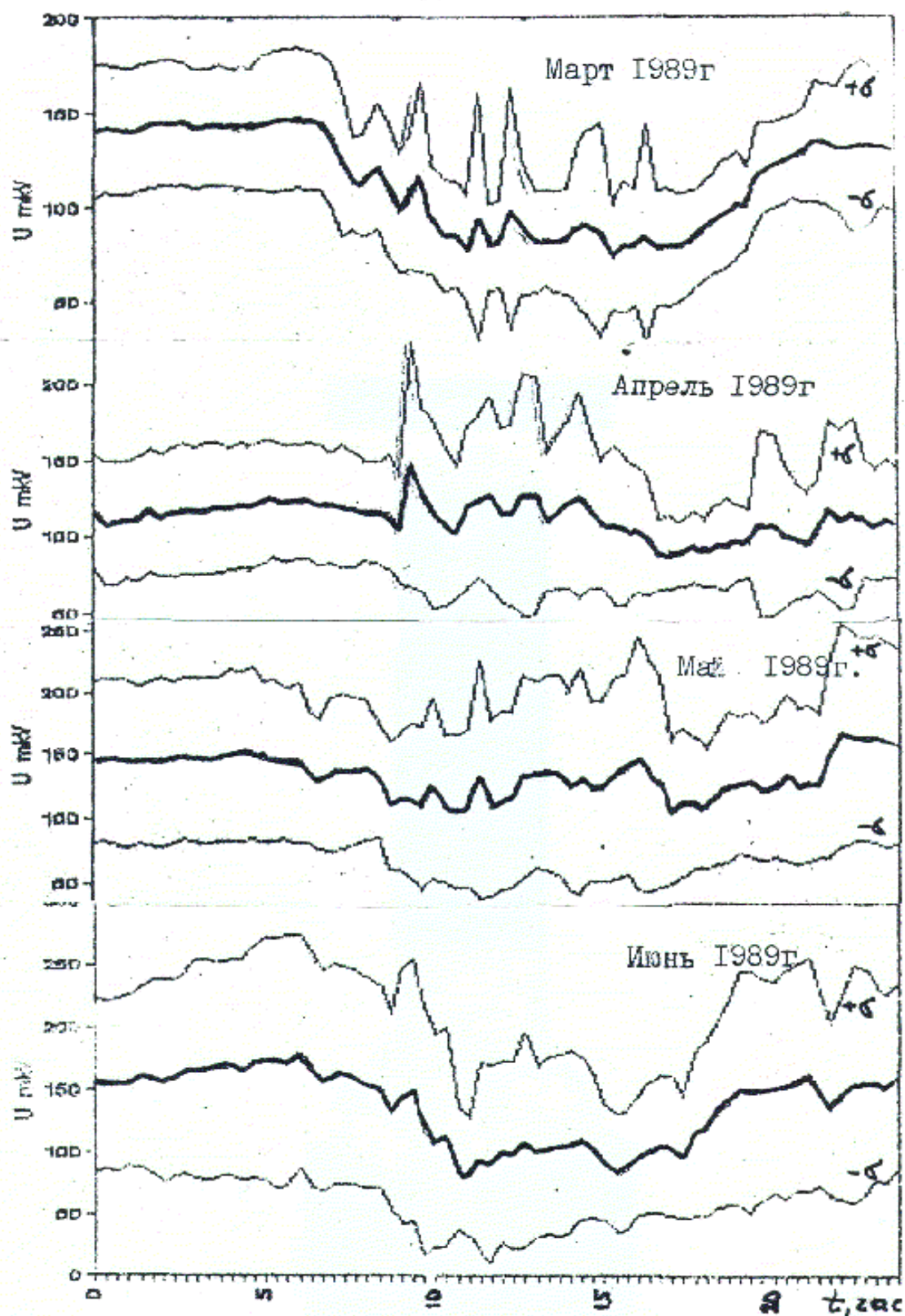


Рис. 4.5.3. Графики среднемесячных суточных ходов ЕИЭМП и их среднеквадратичных отклонений за 1989 г. учетом работы радиостанций.

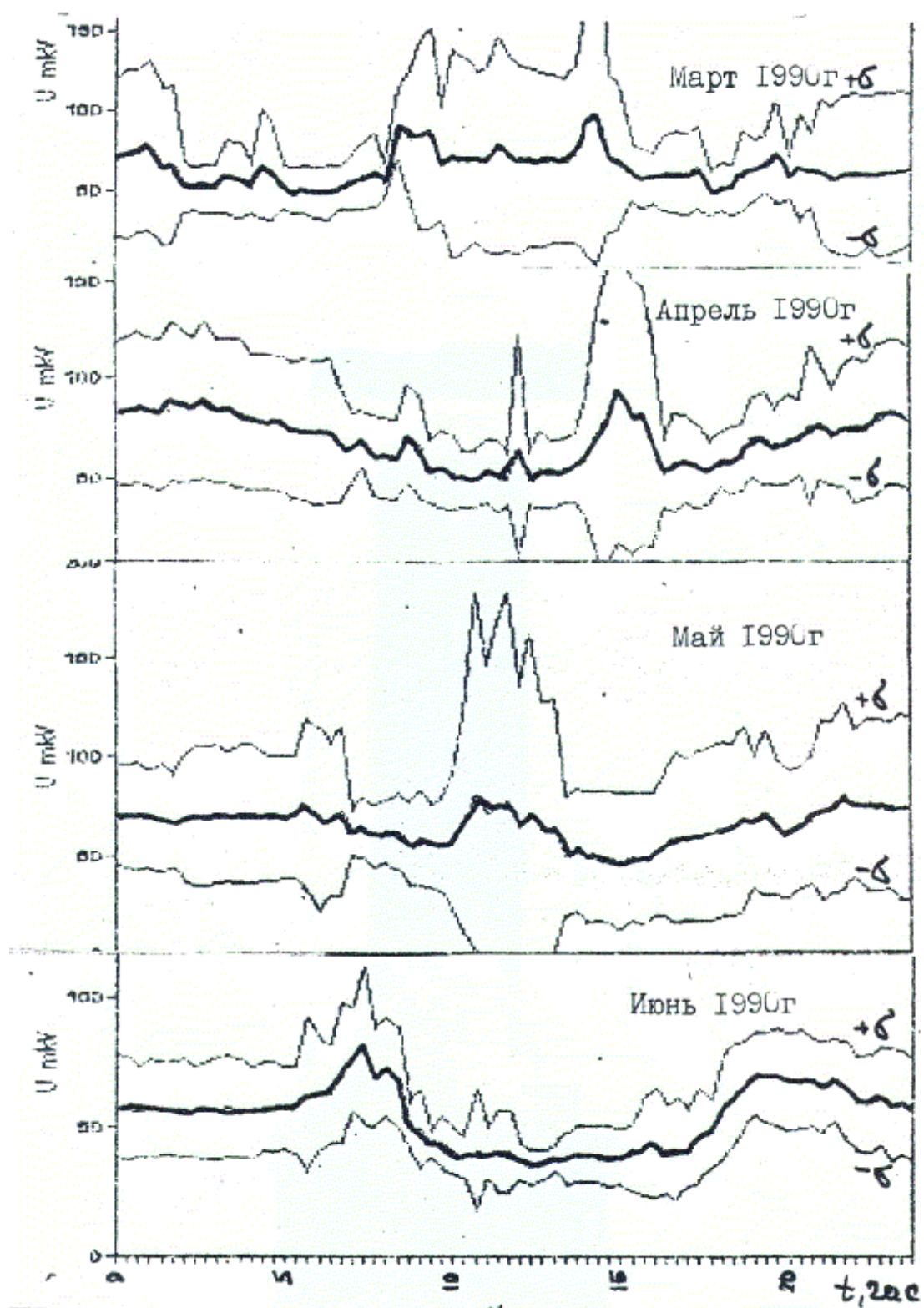


Рис. 4.5.4. Графики среднемесячных суточных ходов ЕИЭМП и их среднеквадратичных отклонений за 1989 г. учетом работы радиостанций.

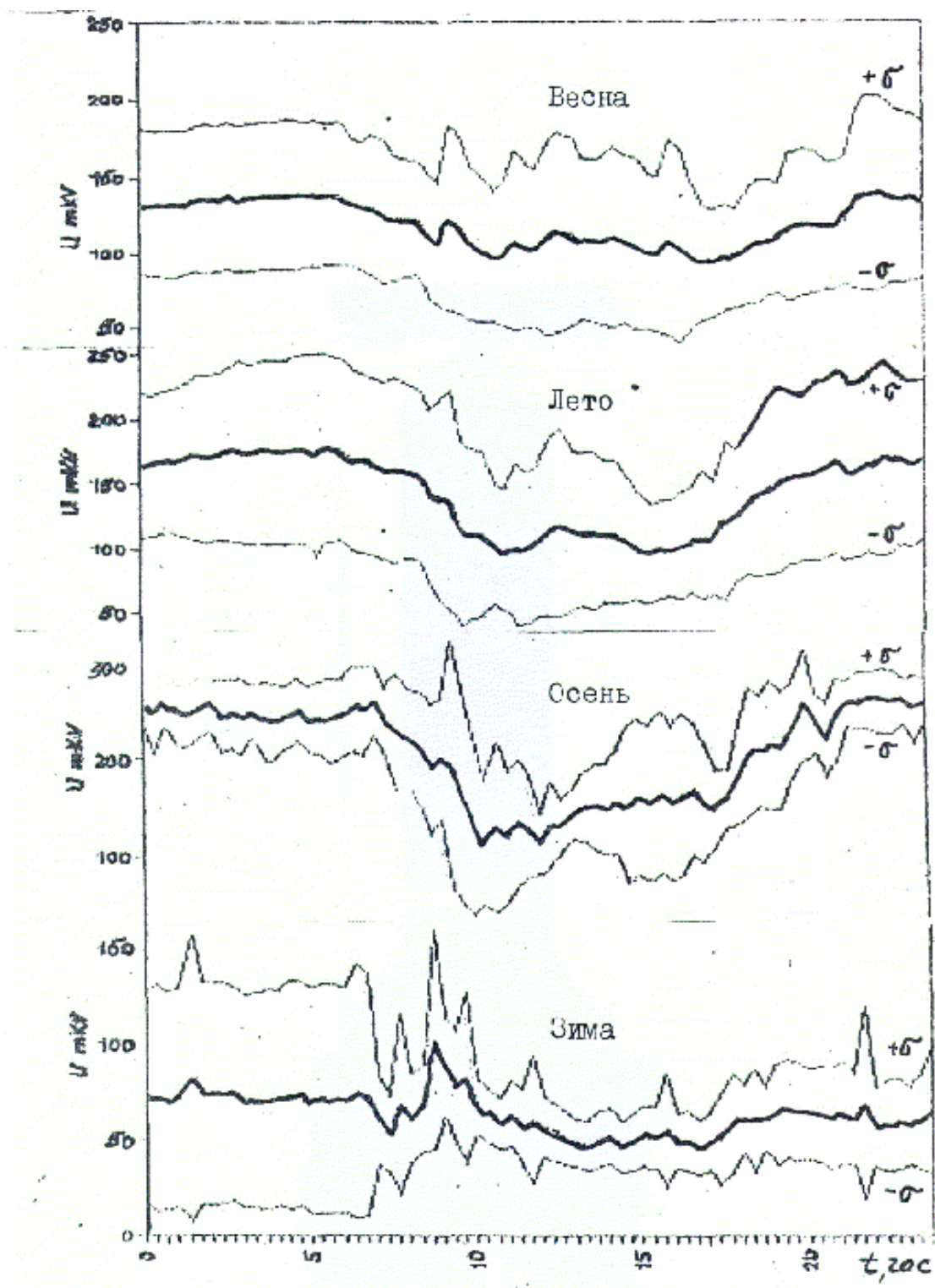


Рис. 4.5.5. Сезонные хода и их среднеквадратичные отклонения ЕИЭМП на ст. Бишкек за 1990 г. $F = 17.8$ кГц.

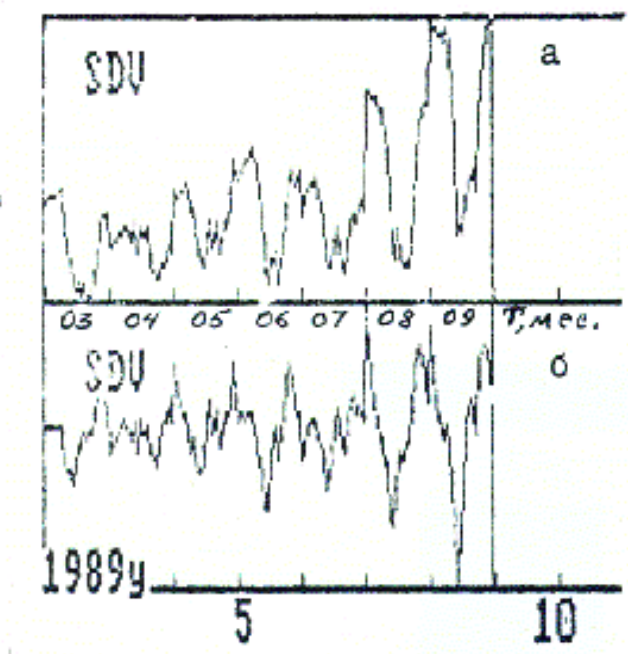


Рис. 4.5.6. а – график среднесуточных изменений поля с марта по сентябрь месяц 1989 г., б – график отфильтрованных среднесуточных изменений поля с марта по сентябрь 1989 г.

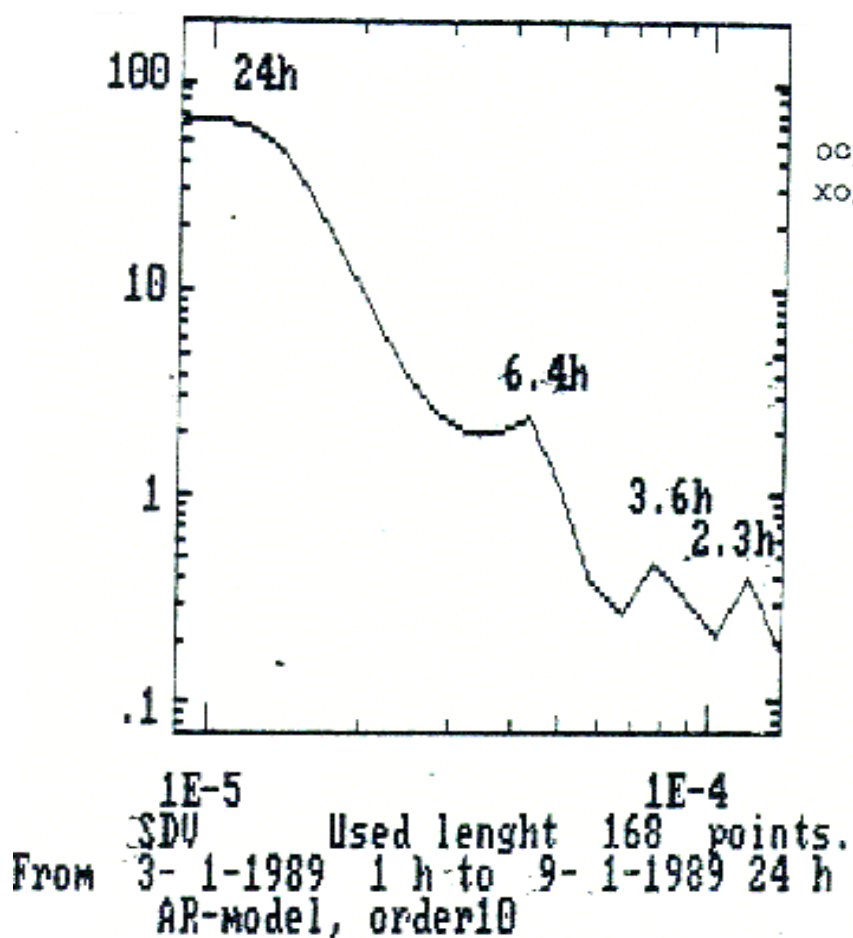


Рис. 4.5.7. Спектр осредненных суточных ходов ЕИЭМП.

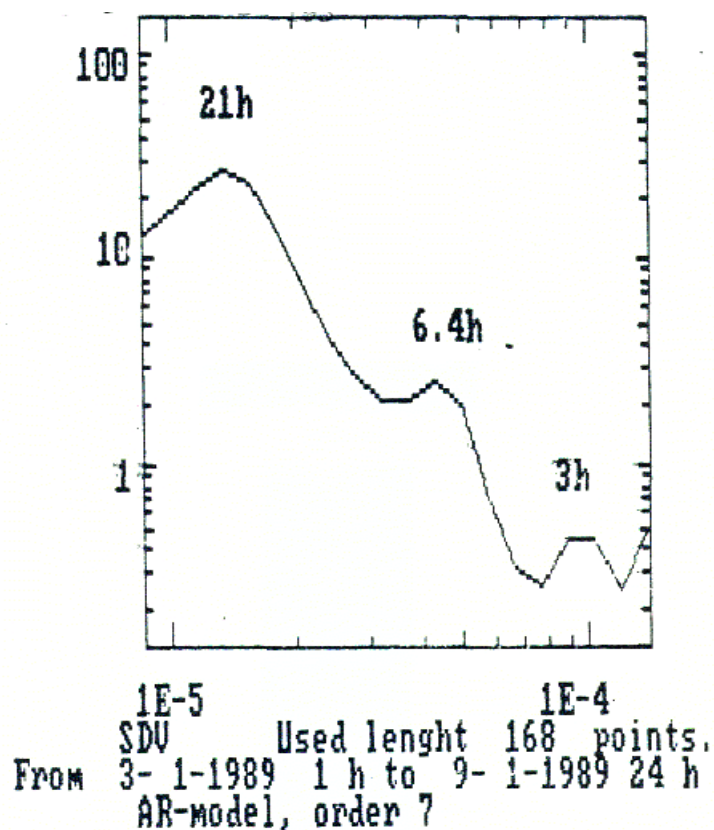


Рис. 4.5.8. Спектр отфильтрованного ряда ЕИЭМП.

В марте 1989 года на территории Бишкекского прогностического полигона произошли ряд землетрясений в $K=9 \div 12$:

- 14.03.89 год	15ч 20м	$K=9$	$R=25$ км	
- 18.03.89 год	22ч 03м	$K=10.5$	$R=55$ км	$h=10$ км
- 22.03.89 год	07ч 30м	$K=12$	$R=300$ км	

Произведен анализ суточного хода интенсивности ЕИЭМП, приуроченных к этим землетрясениям. Графики изменения огибающей напряженности ЕИЭМП в марте представлены на рис.4.5.9. Моменты землетрясений помечены стрелками, выявленные аномалии можно разделить на три вида :

- изменение уровня огибающей фона ЕИЭМП;
- установление почти постоянного уровня фона в течении длительного времени в ночное время суток;
- увеличение амплитуды кратковременных пульсаций (импульсов) и их количества.

Однозначно определенных визуальных аномалий, имеющих предвестниковый характер и проявляющихся при каждом землетрясении, пока не выявлено. Единственно, более или менее регулярно наблюдаются

квазипостоянный ночной уровень, предшествующий землетрясениям.

В спектре среднемесячного суточного хода за март 1989 года появился пик с периодом 18 часов (рис.4.5.10.). Можно предположить связь появления 18 часовой гармоник с активизацией сейсмотектонических процессов. Спектральный анализ часового ряда данных за март месяц показал, что в спокойные от землетрясений дни с 01.03.89 г. по 03.03.89 г. и 05.03.98 г. по 09.03.89 г. присутствуют основной пик с 24-х часовым периодом 8 ч. и 3 ч. (рис. 4.5.11). В период активизации землетрясений с 11.03.89 г. по 14.03.89 г. в спектре ряда (рис.4.5.12а) наблюдается пик с 18- часовым периодом. В спектре часовых данных с 15.03.89 г. по 28.03.89 г. (рис.4.5.12б) аномалии не обнаружены.

Как видно из графиков, часовые ряды данных имеют значительные низкочастотные составляющие и влияние отдельного события на общий ход процессов невелико. Для выявления краткосрочных предвестников низкочастотная составляющая рядов была отфильтрована. Фильтрация проводилась методом скользящего среднего с окном, которое представляет собой половину окна Гаусса, обращенную в прошлое :

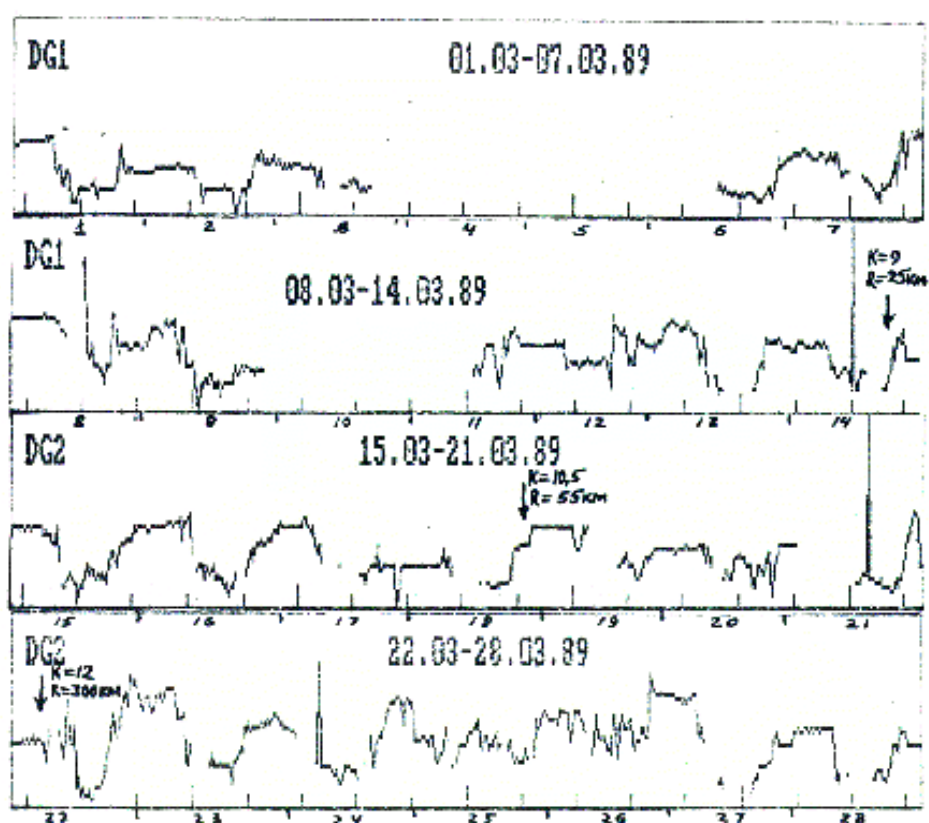


Рис. 4.5.9. Графики часовых данных ЕИЭМП с 1.03. по 28.03.1989 г. стрелками указаны моменты возникновения землетрясений.

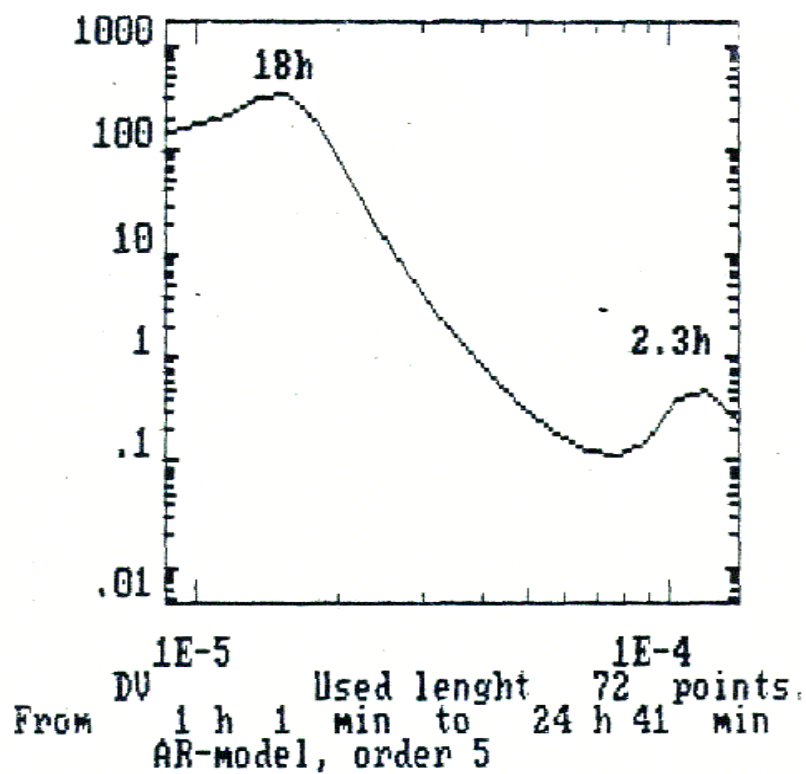


Рис. 4.5.10. Спектр среднемесячного суточного хода ЕИЭМП за март 1989 г.

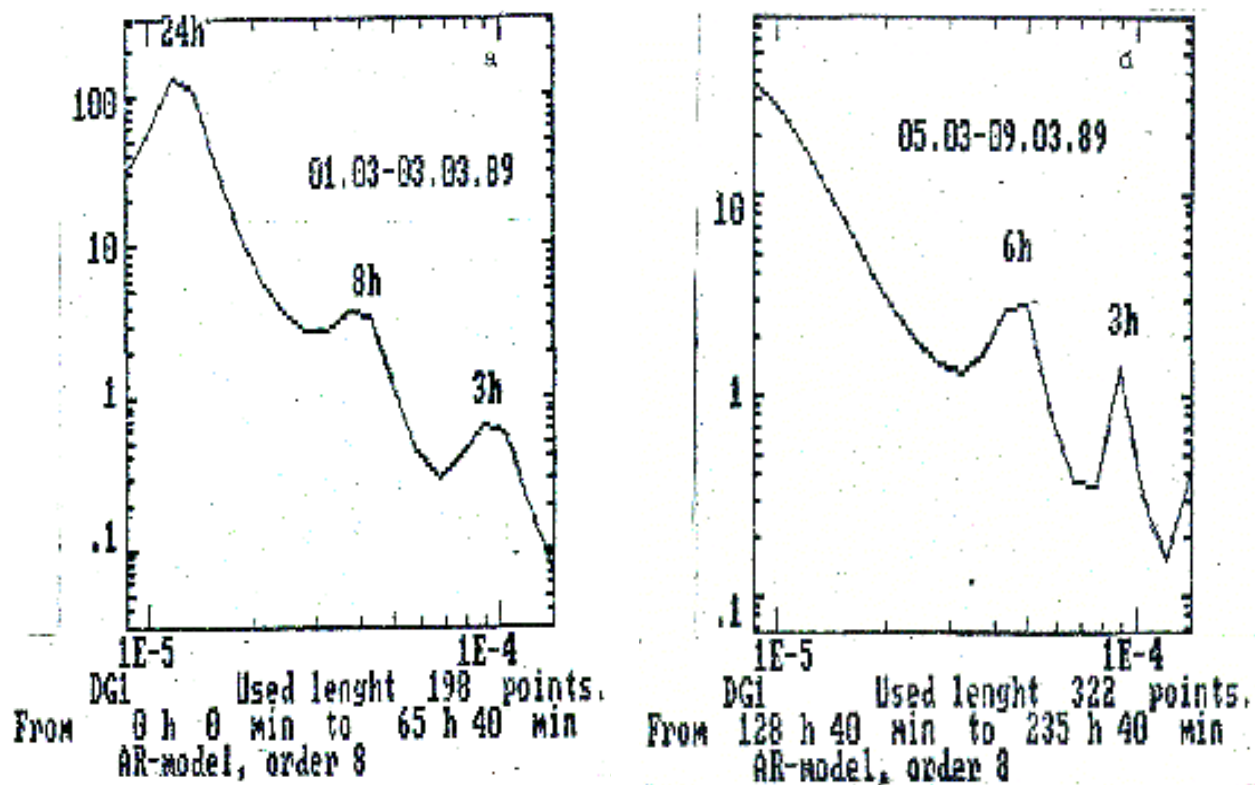


Рис. 4.5.11. а, б – спектры часовых данных в периоды, спокойные от землетрясений.

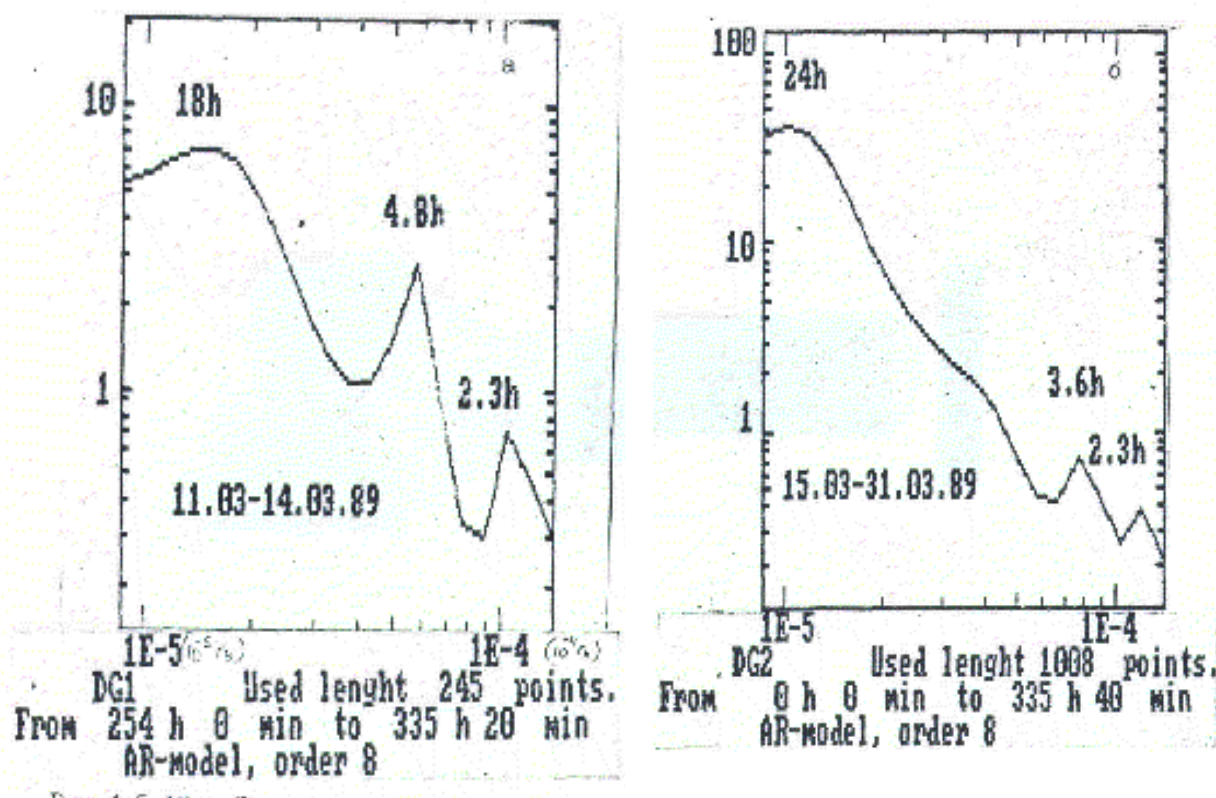


Рис. 4.5.12. а – спектры часовых данных в период активизации землетрясений, б-в период отсутствия землетрясений

$$x_t = Y_t + Y_0 - \frac{\sum_{K=0}^N Y_{t-K} \exp(-K^2 / \sigma^2) f(Y_{t-K})}{\sum_{K=0}^N \exp(-K^2 / \sigma^2) f(Y_{t-K})}$$

где

Y_t - исходный процесс

X_t - фильтрованный процесс

$f(Y_t) = 1$, если измерения проводились,

$f(Y_t) = 0$, если данные отсутствуют

Y_t - среднее значение ряда за весь

изучаемый период.

Отказ от второй половины окна, обращенной в будущее

$$(\sum_{K=1}^N Y_{t+K} \exp(-k^2 / \sigma^2)),$$

дает твердую уверенность в том, что обнаруженные предвестники имеют физическую природу, а не привнесены в ряд в процессе фильтрации. Кроме того, для практического прогноза, естественно, не могут использоваться данные, следующие за днем измерения. Эти обстоятельства представляются нам более важными, чем то, что частотная характеристика такого фильтра имеет боковые лепестки по сравнению с полным окном

Гаусса.

Графики отфильтрованных часовых данных показаны на рис.4.5.13. Спектры отфильтрованных данных показаны на рис.4.5.14 и 4.5.15.

В период активизации сейсмических процессов с 15.03.89 г. по 28.03.89 г. в спектре отфильтрованного ряда данных появился пик с периодом 13.3 часа.

Таким образом, в период землетрясений с 11.03.89 г. по 28.03.89 г. в спектре часовых значений огибающей ЕИЭМП на частоте 17.8 кГц появляются два пика с периодами 18 часов и 13 часов.

Расчет средних и среднеквадратичных значений произведен по программе, написанной на языке БЕЙСИК. Для иллюстрации зависимости графические возможности стандартного табличного процессора и для спектрального анализа использована программа, разработанная Юдахиным Ф.П. и Прилютским Р.Е. (ИЗМИРАН СССР) .

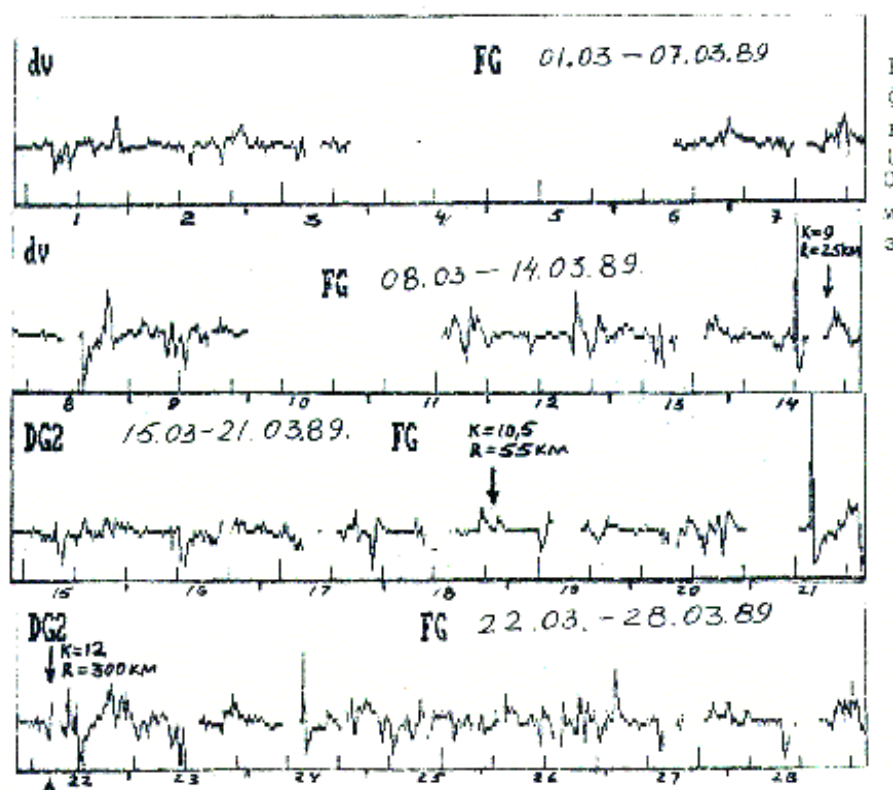


Рис. 4.5.13. Графики отфильтрованных часовых данных ЕИЭМП с 1.03. по 28.03.1989 г. стрелками указаны моменты возникновения землетрясений.

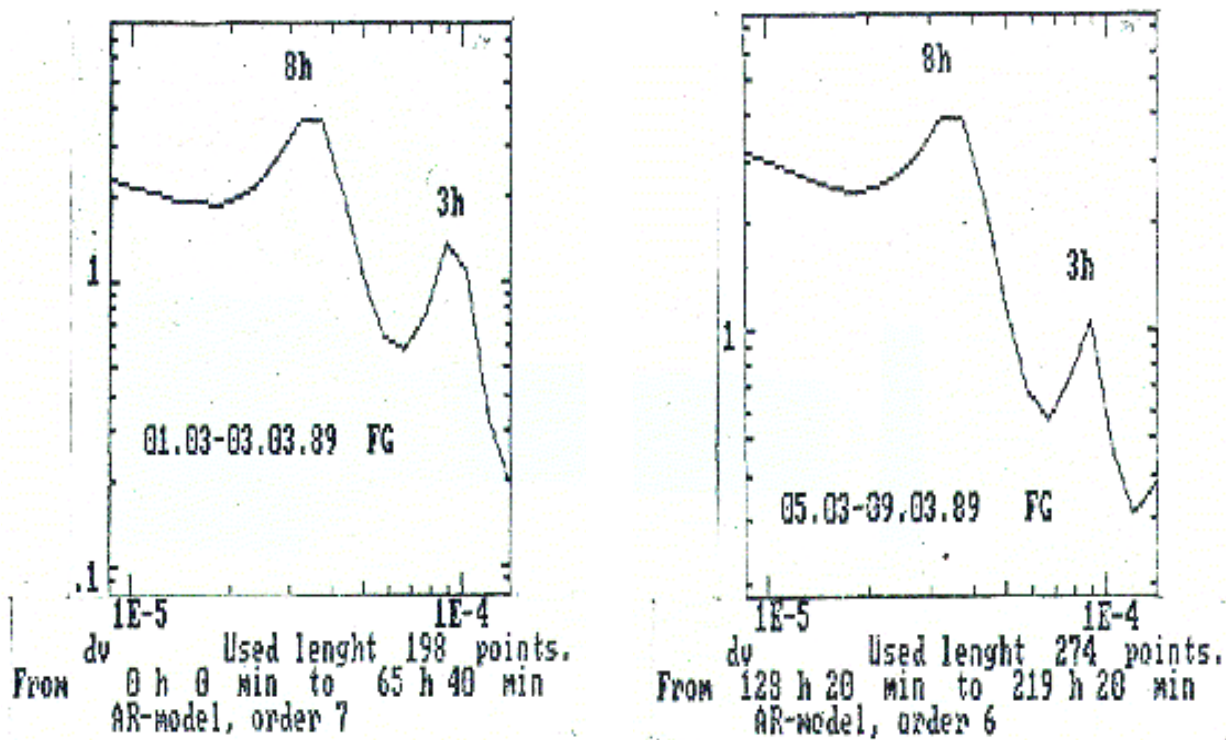


Рис. 4.5.14. Спектры отфильтрованных данных в период отсутствия землетрясений с 1.03.89 г. по 31.03.89 г.

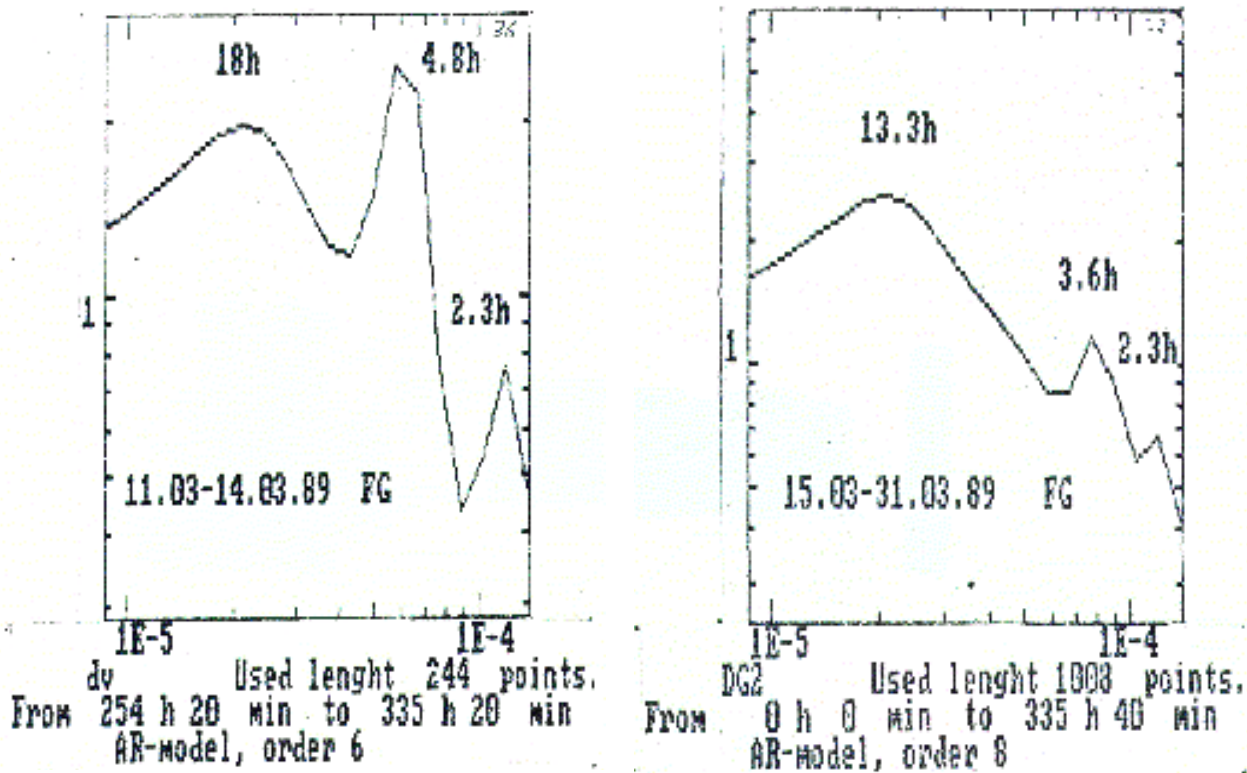


Рис.4.5.15. Спектры отфильтрованных данных в период активизации землетрясений с 11.03.89 г. по 31.03.89 г.

Выводы к главе IV.

1. Синхронные наблюдения в г. Пржевальске и пос. Соколовка в период с 1.1978 г. по 12. 1981 г. показали близкое подобие в изменении формы и амплитуд вариаций фоновой интенсивности естественного импульсного электромагнитного поля на территории Иссык-Кульской сейсмоактивной зоны, что свидетельствует о хорошей репрезентативности результатов наблюдений.

2. Регулярные вариации фоновой интенсивности ЕИЭМП показали, что амплитуды суточных вариаций наибольшие летом и наименьшие в зимние месяцы. В весенние и осенние месяцы они примерно одинаковы и являются средними между летними значениями. При переходе к весенне-летнему сезону они изменяются и характеризуются наличием двух максимумов - послеполуденного (16 часов) и ночного. При переходе к осенне-зимнему сезону послеполуденный максимум становится менее интенсивным и постепенно исчезает.

3. Дисперсия σ (среднеквадратичные отклонения от среднемесячного суточного хода ЕИЭМП) свидетельствует о том, что возможные колебания уровня фона составляют в среднем 30%. Поэтому аномальными отклонениями следует считать отклонения от уровня фона $\pm 2-3\sigma$.

4. Сопоставление регулярных вариаций естественного импульсного электромагнитного поля с метеорологическими факторами в районе наблюдений не обнаружено между ними четко выраженных связей, кроме близких гроз и пурги. Эти дни должны исключаться из анализа связи ЕИЭМП с сейсмичностью.

5. Сопоставление суточного хода ЕИЭМП с Sq-вариациями геомагнитного поля и возмущенных периодов ЕИЭМП с иррегулярными вариациями типа магнитных бурь и бухт не обнаружило связи между этими явлениями.

6. Сопоставление аномальных возмущений ЕИЭМП с сейсмическими событиями в радиусе действия деформационных предвестников показало, что они наблюдаются преимущественно при землетрясениях, приуроченных к зонам разломов.

В результате осциллографирования форм ЕИЭМП и их классификации по форме, длительности выделено 7 групп сигналов, имеющих амплитуды 20-100 мВ/м с длительностью $\tau = 50 - 100$ мкс. Это показало, что подавляющее число импульсов ($\sim 94\%$) относится к атмосферикам. Поэтому большинство аномалий ЕИЭМП связаны с изменениями параметров волновода Земли - Ионосфера.

7. Особенности аномальных возмущений ЕИЭМП при сейсмических событиях с $K \geq 12$, лежащих в радиусе действия деформационных предвестников и вне этой зоны, заключаются в следующем:

- нарушается регулярность суточного хода ЕИЭМП

- изменяется интенсивность регулярных максимумов, превышающих дисперсию суточного хода в два и более раза,
- максимальные эффекты в возмущениях ЕИЭМП всегда предшествуют акту землетрясения,
- длительность возмущения составляет от нескольких часов до нескольких суток.

8. На значительном статистическом материале исследовались морфология, пространственно-временные характеристики ЕИЭМП методом огибающего сигнала. Установлены следующие закономерные особенности аномалий ЕИЭМП:

- установление почти постоянного уровня фона в течение длительного времени в ночное время суток
- увеличение амплитуды кратковременных пульсаций (импульсов) и их количества
- перед землетрясениями в спектре часовых значений огибающей ЕИЭМП появляются два пика с периодами 18 и 13 часов.

9. В акте землетрясения изменение уровня ЕИЭМП не обнаружено, даже в тех случаях, когда приемные станции находились в эпицентральной зоне.

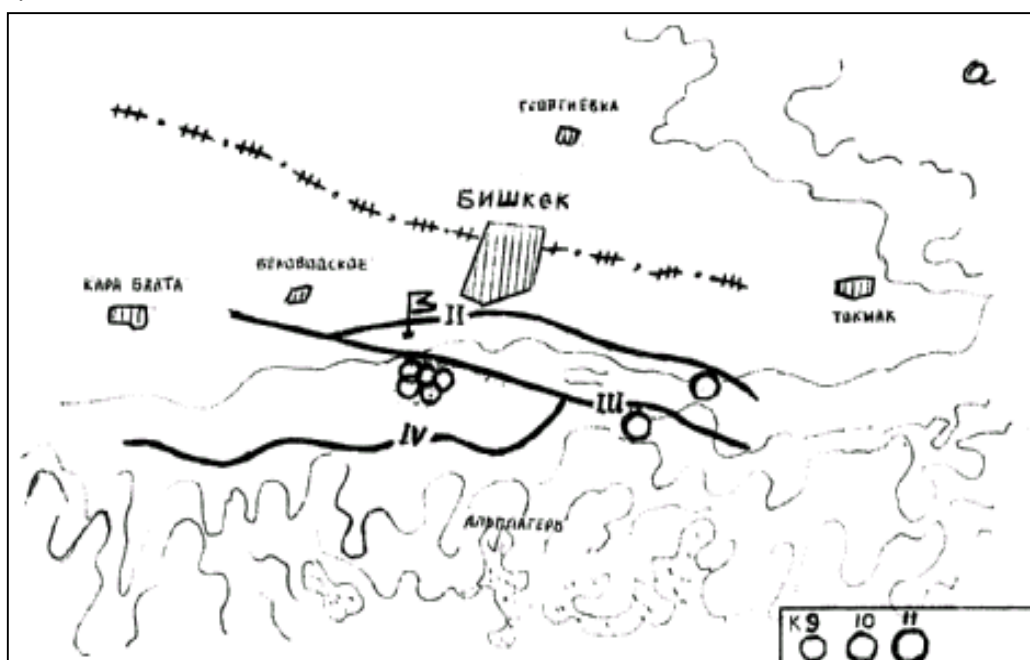
Глава. V. ЭЛЕКТРОТЕЛЛУРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ (ЭТП) И СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

5.1. Инструментальные наблюдения горизонтальной составляющей электротеллурического поля в зоне разлома.

В 1988 - 1990 гг. были проведены работы по организации замеров ЭТП на Иссык - Атинском разломе в пункте Орок (рис.5.1.1а). Выбор места был обусловлен рядом причин (см.гл.3, 3.4). Верхняя часть разреза выбранного нами места приведена на рис. 5.1.1б.

На рис. 5.1.2. приведено графическое представление деформаций земной поверхности в пункте регистрации Бишкекского геодинамического полигона по данным предприятия №19 [243, 244]. Геометрические характеристики деформаций земной поверхности, свидетельствуют о наличии горизонтальных составляющих на Бишкекском ГДП. Так в северной части южного построения наблюдаются относительно большие сжатия и растяжения, ориентированные в направлении Север - Юг, что подтверждается так же направлениями векторов смещений пунктов.

Деформация растяжения, проходящая между крыльями Шамсинско-Тюндюкского разлома, сопровождается деформацией сжатия между крыльями Иссык-Атинского разлома и вызывает наклон земной коры, заключенной между двумя разломами с отрицательным знаком на Север, который в свою очередь вовлекает в аналогичные движения северное крыло. Опускание последнего вызывает наклон участка земной поверхности, к Северу от разлома с направлением отрицательного уклона на Юг.



- II Иссyk-Атинский разлом --+-- Флексурно-разрывная зона
 III Шамсинско-Тундукский разлом Р Место проведения замеров ЭТП
 IV Чонкурчакский разлом ☼ Эпицентры землетрясений

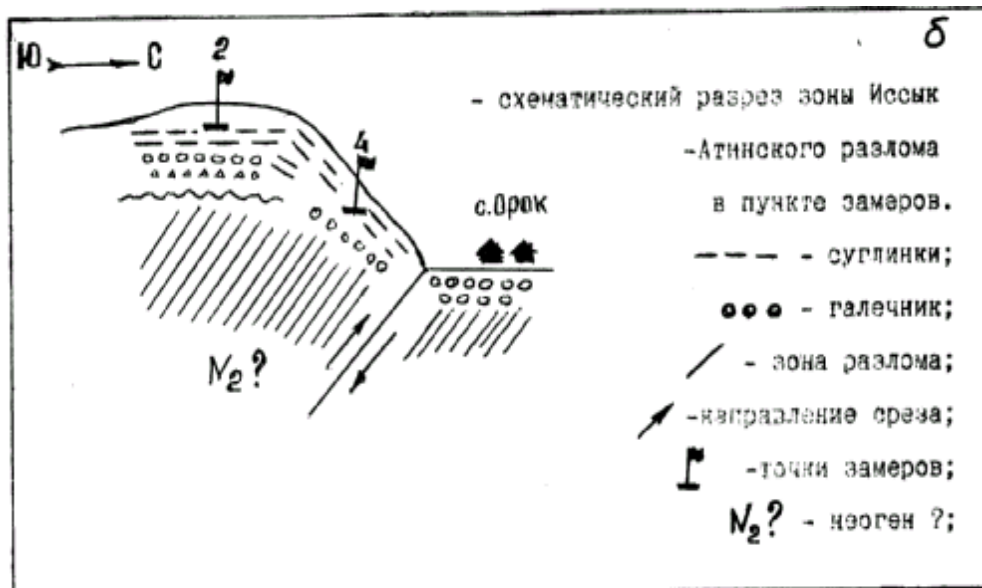
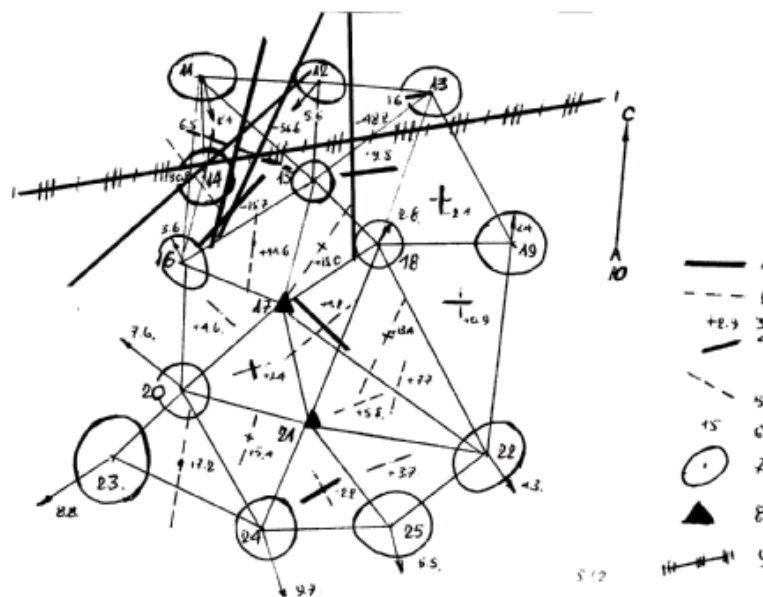


Рис 5.1.1 Место проведения замеров ЭТП и схематический разрез зоны Иссyk-Атинского разлома.



1. Направление и величина сжатия
2. Направление и величина растяжения
3. дилатанция (масштаб для 1-3 принять 10^{-6})
4. вектор смещения
5. длина вектора
6. направления вектора смещения
7. эллипс ошибок
8. исходный пункт
9. разлом

Рис 5.1.2. Графическое представление деформаций земной поверхности в пункте регистрации ЭТП. Условные обозначения см. обр. стр.

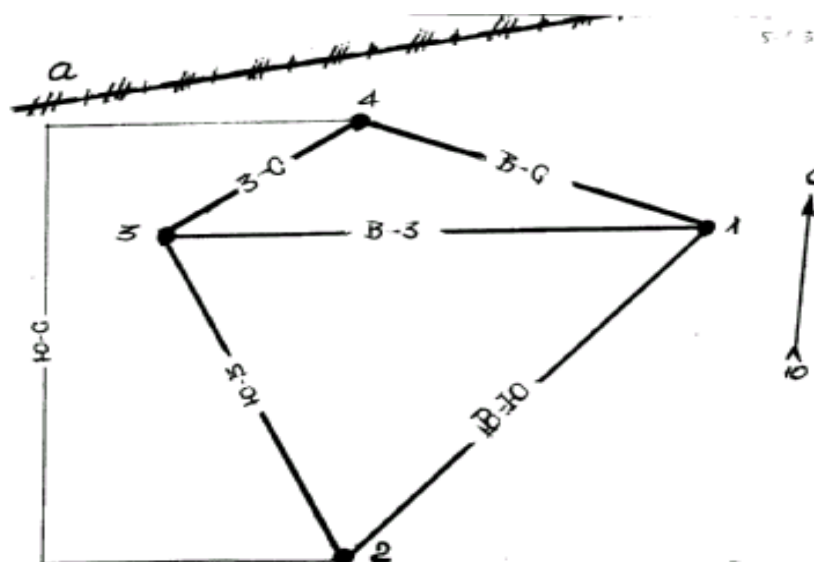


Рис 5.1.3. Схема расположения датчиков, а Иссык-Атинский разлом.

Если сравнить рис. 5.1.3., в котором показана ориентация измерительных линий нашего полигона, можно заметить, что ориентация линии № 2 - 1 точно совпадает с ориентацией основной линии сжатия, линией № 2 - 4 и № 2 - 3 тоже идут вдоль этих линий под небольшим углом, линия № 1 - 3 находится параллельно к разлому. Глубина залегания всех датчиков составила 2 м.

Многолетний опыт постановки и проведения работ исследователей по регистрации ЭТП дает основание утверждать, что уверенное выделение аномальных изменений в структуре поля встречает определенные трудности, связанные, в первую очередь, с несовершенством датчиков. Повышенные требования к электродам, как и к первичным преобразователям ЭТП в пропорциональное ему напряжение, определяются прежде всего тем, что разность электродных потенциалов непосредственно входит в измеряемую величину и, следовательно, может существенно исказить как форму, так и величину аномалии. Неравномерность электрохимических процессов на поверхности электродов при заземлении последних в среде с ионной проводимостью предполагает вариации электродного потенциала различной амплитуды и длительности.

При заземлении электрода в грунте можно в первом приближении считать, что потенциал, определяющими являются ионы гидроксидов, обуславливающие реакцию почвенного раствора, а также хлор-ионы, и в меньшей степени, ионы NO_3^{-2} и HCO_3^{-} , которые не поглощаются большинством грунтов. Остальные анионы химически поглощаются почвами с образованием нерастворимых или плохо растворимых соединений [274].

Учитывая предложения в работе [275], нами были созданы

неполяризующиеся электроды второго рода, покрытые малорастворимым соединением, в состав которого входили ионы гидроксидов и ионы хлора. В качестве материала, подлежащего покрытию был выбран свинец. Содержание олова, в используемом свинце, было менее 0.01%, содержание других примесей на порядок ниже (по данным лабораторной спектрометрии КГУ)

При подготовке поверхности электрода к покрытию проделаны следующие работы:

1. Электрохимическая очистка в концентрированной соляной кислоте;
2. Промывка в проточной воде;
3. Обезжиривание четыреххлористым углеродом;

Подготовленные таким образом пластины погружались в насыщенный раствор химически чистого хлористого свинца и обрабатывались переменным током частотой 50 Гц при плотности тока 0.01 А/см^2 в лаборатории ин-та физики НАН КР. Продолжительность обработки составляла 28 часа. В результате поверхность пластин покрывалась плотным неосыпающимся слоем соли мелкой однородной структуры.

Для определения собственных потенциалов свинцовых электродов и нахождения действительных значений напряжений между точками использовались неполяризуемые электроды типа "Терлит". При проведении работ с терлитами на электродах №2 - №4, разность потенциалов между терлитами Т1 и Т2, установленными на одном глиняном ладе, равнялась $\Delta\varphi = -0.92 \text{ мВ}$, что говорит о малых собственных потенциалах применяемых электродов. Разность потенциалов между точками Юг - Север (№№ 2-4), измеренная терлитами, равнялась 0.90 мВ . Вычитая собственные потенциалы терлитов, получили действительное значение разности потенциалов между точками 2 и 4 равное 1.82 мВ .

Для измерения собственных ЭДС свинцовых электродов, поляризации их и отсекающие помех проделаны работы по методике предложенной ИФТРАН., которая предполагает следующее:

между точками 1 и 2

$$U_{2-1} = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (5.1.1)$$

Потенциалы электродов, т.е. ЭДС собственной поляризации электродов, непосредственно входят в измеряемую величину:

$$U_2 = \varphi_2 + I_2, \quad U_1 = \varphi_1 + I_1$$

è òîðîéà 1 ïðåíàððàðð àèä :

$$U_2 - U_1 = (\varphi_2 - \varphi_1)(\alpha_2 - \alpha_1) \quad (5.1.2)$$

Ïðå òçèàðàèèé ÿåèèððîîâè "Òàðèèè" à ãèèýîî èàçà, ñîàèèýðùè àâî ñî ñàèèîîâîî ÿåèèððîîâè, àîððæàèè àæàò "Òàðèèè" è ñàèèîîâîî ÿåèèððîîâè ñèó÷àà àèü àðàèé òî÷èè:

$$U'_1 = (\varphi_1 + e_1) - (\varphi_1 + e_{\text{òàðèè}}) = \alpha_1 - \alpha_{\text{òàðèè}} \quad (5.1.3.)$$

àèü àðîðèé:

$$u'_2 = (\varphi_2 + e_2)(\varphi_2 + e_{\partial\partial\partial\partial}) = \dot{a}_2 - \dot{a}_{\partial\partial\partial\partial} \quad (5.1.4)$$

Áú÷èòàÿ èç (4) (3) ïïéó÷ààì:

$$u'_2 - u'_1 = (e_2 - e_1) - (e_{\partial\partial\partial\partial} - \dot{a}_{\partial\partial\partial\partial}) = \dot{a}_2 - \dot{a}_1 \quad (5.1.5)$$

Îñòàðòñÿ òïèùèî ñíáñòàáííúâ ïîðáíòèàèù ñàèíòíáñò ÿèàèòðíáñ è ïíáðè ñâyçàííúâ ñ èð ïïèÿðèçàòèèé.

Èç (5.2) ïïéó÷ààì:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = (u_2 - u_1) - (e_2 - e_1) \quad (5.1.6)$$

Â âúðàæáíèà (5.6) ïíáñòààèÿâ ïïéó÷áííúâ çíà÷áíèÿ u'_2 è u'_1 , òíãàà

$$\varphi_2 - \varphi_1 = (u_2 - u_1) - (u'_2 - u'_1) \quad (5.1.7)$$

ò.â. ïòñáèàâ ïíáðè ($u'_2 - u'_1$) ïò ñèáíàèà ($u_2 - u_1$) è ïïéó÷ààì áàéñòàèòàèúíòð ðàçíèòó ïîðáíòèàèíà ìæáó òí÷èàì 1 è 2.

Áúèè ïðíááááíú ðááíòù ïí ñúáíèà ðàñêèèàà ìàðÿæáíèè ìæáó áúáðáííúè òí÷èàì. Ðàçóèùòàòù ìáðáñ ñúáíèè ïò ðàçóèùòàòíà áòðòù ñúáíèè ïèè÷àèèñù ìáñóáñòàáíí, ìàèñèìàèùíà ðàñòíæááíèà ìá ðáááñòàòò 5íÂ äèÿ ìáíèè òí÷èè.

Ìà ðèñ. 5.1.4. ïðèáááá ïíðááíáííúè áðàòèè ðàñêèèàà ìàðÿæáíèè ïí èèìèÿì $^1 1 - 3$ è $^1 2 - 4$, ðàñòíòíÿèà ìæáó çàìáðÿáííúè òí÷èàì ñáíú ìáðòíà. Èç ðèñíóíèà àèáí, ÷òí äèÿ èèìèè $^{12} 2 - 4$ ìàèñèìàèùíà ïîðáíòèàèù ìá ðáááñòàòò - 21íÂ, à äèÿ èèìèè $^1 1 - 3$ ìáíúðá 23íÂ, ïîðáíòèàèù ðàñòíæááèÿðòñÿ ïí áñáíó ïïèð ðááííáðíí, ÷òí áíáíðèò í áúáðæáíííòèè ááíÿèèòðè÷áñèèò ðàðàèòàðèñòèè ááðòíáé ÷áñòè ðàçðáçà á ðáááèàò áúáðáíííà ìàèè ïïèèáííà.

Áúèà ïðíááááíà ðáàèòèÿ ÿèàèòðíáñ ìà èçìáíáíèà àèæáííòè à ñðááá, ïèðóæàðòáé ààò÷èè àñèááñòàèè èíèèùòðàòèè àòíñòáðíúò ïíàáèíà. Ìèàçàèíñù, ÷òí áàèè÷èà èçìáíáíèÿ ðàçííòèè ïîðáíòèàèíà ìà ÿèàèòðíáñ ìá ðáááñòàòò ìáðáñ ìÂ (ðèñ.5.1.5.).

Äèÿ èññèááíáíèÿ áúèè ðàçááðíóòù 4 ñòáíòèè ðáàèñòàòèè ÿèàèòðíáñèòííà ïïèÿ ìà òáððèòíòèè Àèðèáñèíáí ááíáèíàì÷áñèíáí ïïèèáííà (ÁÃÌ) (ðèñ.5.1.0).

Ñóóáñòàáííóð ïíáðó ðáæèííúè ìáèðááíèÿ ìèàçúáàðò ïíàçáííúâ ìááíóáíè çàèááðòèà ñíðóæáíèÿ, èíòíðúâ ïíááðæáíú èíðòíçèè (áíáíðíáíú, òðóáú, òáðíú è äð.).

Èíðáíñèáíúâ èíèàèùíú è ìàèñèìàè ïîðáíòèàèà ÝÒÌ áàèè÷èè áí 60 ìÂ, ìáñòíèáííúâ ìèèñèèòàèùíúè ïðíáññàìè, áúèè ìáíáðóæáíú ïðè ðááíòà á çííà ïóíèòà ðáàèñòàòèè Àèùíèíáðà. Áèèÿíèà òàèèò ïðíáññà ñíááíí áàèèè á ìáðèíáú áúíàáíèÿ ïíàáèíà, òàÿíèÿ ñíááá, èíòíðúâ èíðáíñèèòèèòòòò èíðòíçèèíúâ ÿàèáíèÿ. Èññèòòàáííúâ àííàèèè ñíçáàðò ìáðèáíèèíúè òíí äèÿ áíèáíðáííúò ìáèðááíèè.Â ñâyçè ñ ÿòè, ðáàèñòàòèè ÝÒÌ ìà ñòáíòèè Àèùíèíáð ìàèè ìáèèðáííú, òíðÿ á ìà÷àè ìáíááíèÿ çàìáðíà ðàçííòù ïîðáíòèàèíà áúèà çíà÷èòàèùí ìèæá, ìèíè 20-30 ìÂ.

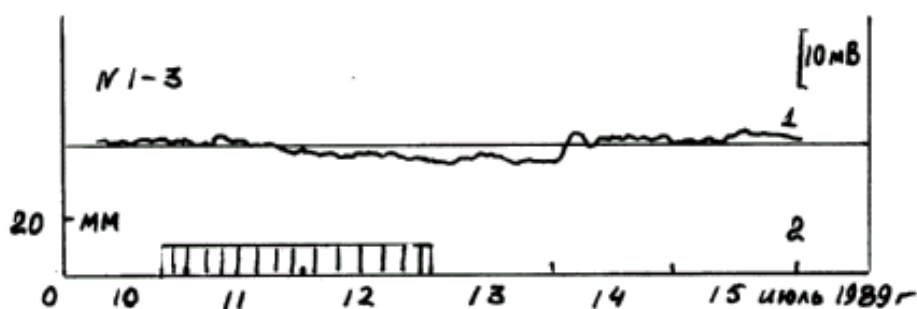
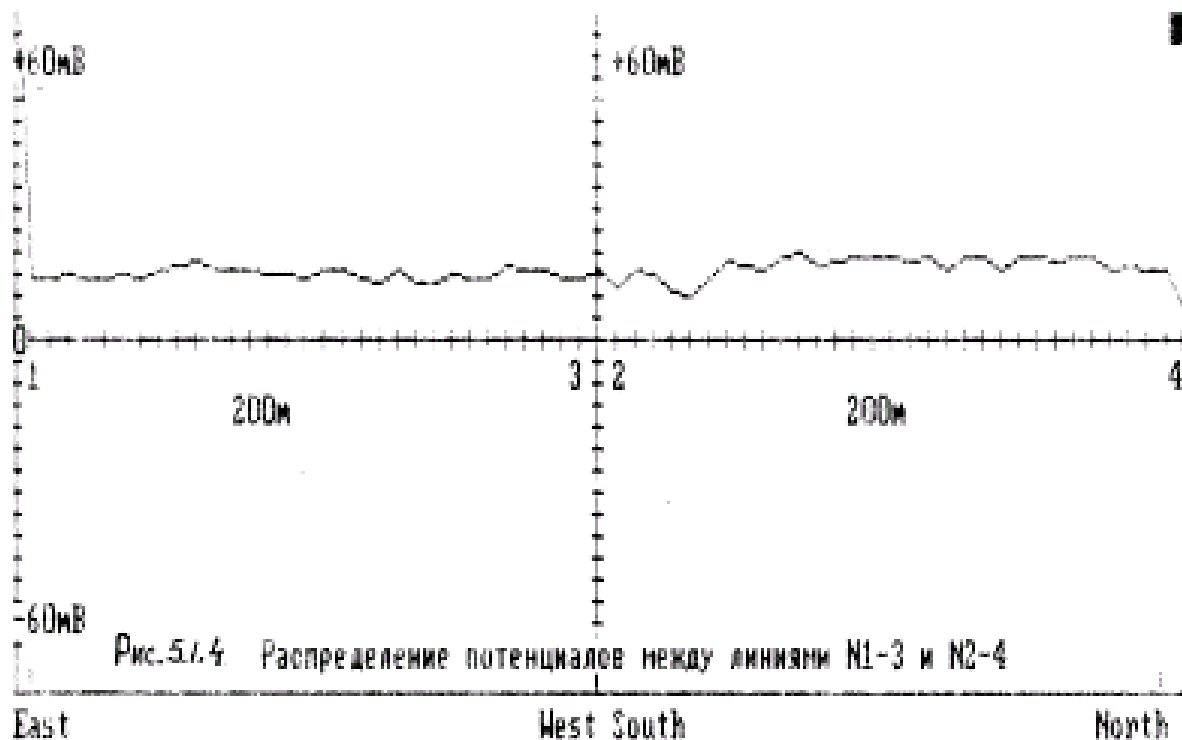


Рис. 5.1.5. Примеры изменения разности потенциалов между электродами (1) в результате выпадения осадков (2).

5.1.1. Αίαεεç ôííâíé ààðèàöèè ýèèòðíðæèóðè÷âñèíâí ññý

1. Ñññòàæèáíèà ñóðí÷íâí ôíàà ÝÏÏ è ñññèíèóð ñññèá÷í-ñóðí÷íó ààðèàöèè (Sq) àâñíáñèòíâí ññý ññèàçæí, ÷òí Sq-èñèááàíèý ñòíà÷æèññú íà àññò ñòáíòèýð ðáâñòðàòèè ÝÏÏ. Íàññèàèüíú àâèè÷èú íàáèðáàèññú íà ñòáíòèè “Àèà-Àð÷à” - 25 -28 ìÂ/èí à íàíðàæèáíèè ÑÐ. Ëàòí àññèòóàà ààðèàöèè ïðèèèçèòáèüí à 2 ðàçà áñèüðá ÷àí çèññè. Ìí÷òè àññáàà íà ôíâ ñññèá÷í-ñóðí÷íó èçíáííèé òèññèðóðñý àññèí÷àñòíòíúâ àñçíóàíèý, èíâðèà íà ðáâèí àññèòóáó áñèüðóð, ÷àí Sq- ààðèàöèè.

Ìí ðáçóèüòàòàí ññèòðàèüíâí áíàèèçà àññèýðñý èñèááàíèý ñ ñðèíààè 24, 12 è 6 ÷àññà (ðèñ.5.1.7). Äèý ðýàà èçíàðèòáèüíó èèíèé ñò.Ìðíè è Áæèñíðèà íáíàðóæíà 27 ñóðí÷íàý ññà, èíòíðàý ñòðæààò èóíí-ñóðí÷íó ààðèàöèè àâñíáñèòíâí ññý. Àññèòóàà

ýòèð ññòààëýðùèð íà áíëåå 1ìÁ.

2. Íàðàíðíëíàë÷ååðàòèòèðù.

À. Êíëë÷åñòàí ññàëíà. Íàìë çàìà÷åíí, ÷òí àùíàååíèå ññàëíà à êíëë÷åñòàí íà íàíåå 10 ì íà íëàçóååðò ñóòàñòàíííàí àíçååñòàëý íà ñòòóèòóòò ðååñòèòóòàííàí ííëý. Ìðë êíëë÷åñòàí ññàëíà áíëåå 20-30 ì èçìåíèå óðíàíý ÝÒÌ íñèò áíëåå àùðååíííóé òàðåèòò è ìðëë÷åñòàí íí àåèë÷íà, àëèòàëííòè è àðàíàíè àíçíëííàíëý. Á áíëååñòàí ñëó÷ååå èðòèííèåèòàëííòè ññòàåýàò 2-3 ñóòíë, à àíëèòóàà íà ìðååèòàò 6ìÁ, à çååñòèííòè ìò ìàñòèííòè òñòàííååííóò ñòàííèè è àëèòàëííòè àùíàåíííóé àíëåå. Áñèè àùíàåííèå ññàëíà áíëåå 60 ì, ìðë ìðååñòàëííòè àíëåå áíëåå 3-4 ñóòíë ñ ìðååèòàíè, òí ìðååí òèñòóòòíý áóòòíàðçííà èçìåíèå ÝÒÌ àëèòàëííòè ííëè 5-6 ñóòíë è àåèë÷íè 20-23ìÁ. Ó÷èòàåý òàëåå ññàíííòè ìðë ññàëåò, áóè òñòàííååí íàíð èçìåíèèòàëííóò èíëè ñèèèàëííè "÷òàñòàëèòàëííòè" è àòíñòàíííóí ýååíèè è ññèèèè èàè ññèííà.

À. Àëåñííòè. Èçó÷åíèå ìåðåèòàëííè àëåå à çííàò ìàñòàñòàííí ìðëååèòàí è ýåèòàííàí ìðë òèèòòàòèè àíëååííóò ññàëíà. Ñ ýóíé òàëè èçó÷åñòàí ààèòàèè íàíííè àëåñííòè à ññòàëííí íàíòàííàííóò ñèååèàò ñ àëóáííè 2 ìòòà. Èññèèèèèè íàéòèíííè èçìåíèèòàëííí àëåñííòè ÍËÁ-2, êíòèòóé ñçåíýàò ññàåèòò ìàíííóò àëåñííòè ñ òí÷íòè íà íååå 0.01% . Ì èçìåíèèè ýóííà ìðåèòàò ñ àëóáííè à çååñòèííòè ìò àðàíàíè ññèí ñóèòò ñ àåèèèè àëåå à àðóòà. Íàëèèèèè ìðååèèèè 2 ðàçà à ñóòèè íà òèñòèííàííóò àëóáííòè 0.5, 1, 1.5 è 2 ì, à íàíå ññèííòè à òà÷åíèè 3 ìñýåå.

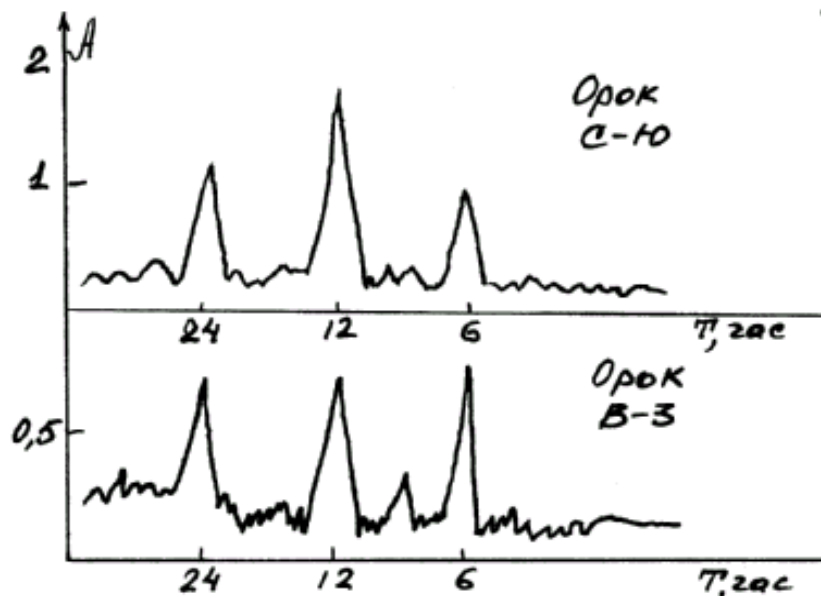


Рис. 5.1.7. Амплитудные спектры ЭТП на ст. Орок

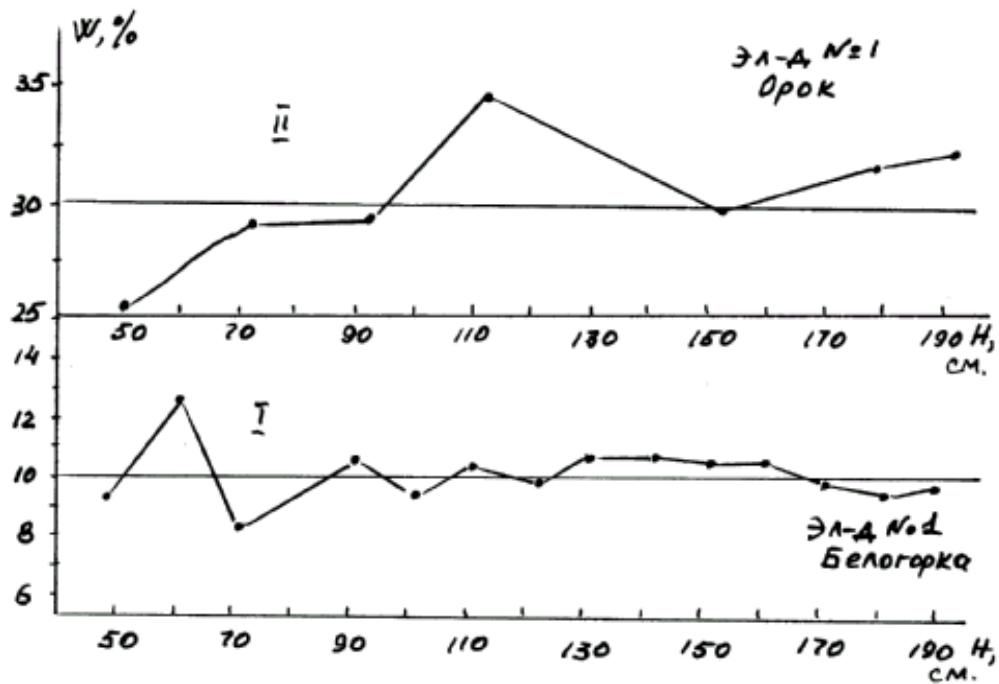
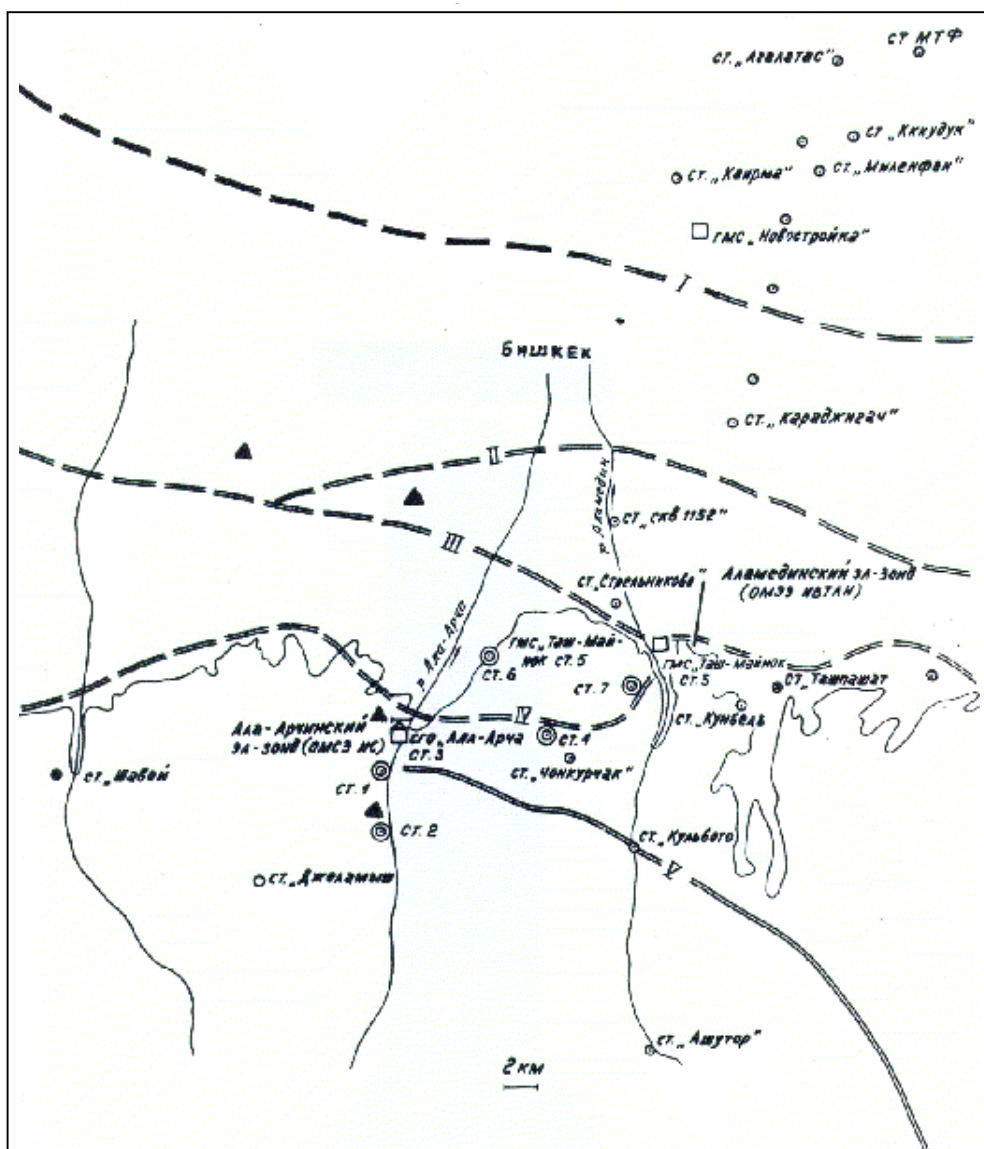


Рис. 5.1.8. Примеры изменения объемной влажности с глубиной для приэлектродных зон на ст. Белогорка (1) и ст. Орок (2)

Їðè àùìààáìèè àìæääé èìòáìñèáìñòùð 10 ìì è àùøå æÿ àùÿâèáìÿ ðåæèà èìòèèùððàòèè àìæääàùð ìñààèíà èçìáðáìÿ àùìíèíÿèèñù ÷åðåç èàæàùå 3 ÷àñà à ðå÷áìèè 1.5 - 2 ñóòì. Ñðåáìèå çìà÷áìÿ àèàæìñòè ìà ìèæìèð àìðèçìòàð æÿ ñò. "Їðì" èàæàð à èìòàðàèå 30-35% , à òì àðáìÿ èàè ìà ñò. "Áàèíáðèè" ÿòì ààèè÷èà ñìñòààÿÿàð 10-15% (ðèñ.5.1.8).Їáùøáìíà çìà÷áìèå àèàæìñòè ìà ñò. "Їðì" àèàèì ñåÿçáì ñ àèèÿìíì ñìñòààì àìààðùèð ìðì. Á ñåÿçè ñ ÿèì, òòìñèðàèùì ìáìòà àùìààáìÿ ìñààèíà àèàæìñòù ìà àèóáèíà 1.9 - 2 ì àìñòèàààð ìàèñèòìà ÷åðåç 15 - 20 ÷àñà æÿ ñò. "Áàèíáðèè", à æÿ ñò. "Їðì" ÿòì àðáìÿ ñìñòààÿÿàð 2.5 - 3 ñóòì.

Èç ðèñìèíà àèáì, ÷òì óáàèè÷áìèå àèàæìñòè à ñðåáì ìà÷èààòñÿ à ìðàùà ÷àñù ìñèà ìà÷àè àìæÿ è ìðìæÿàòñÿ áìèåà òò÷àèèààà ìà ààðòìèð àìðèçìòàð. Çàññ àè àèáì, ÷òì ìà àèóáèíà çàèìæáìÿ ÿèàèðìáì ÿèè èçìáìáìÿ ìðèàðì à 10 ðàç ìáìøå, ÷àì ìà ìðàùà 50 ñì.

Ìà ðèñ.5.1.9 ìðèààáì ìðèàð ðàçàèèè òèèùððàòèìíà ìèÿ ìñèà àìæääé ñ ìáùè èìèè÷àñòàì ìñààèíà 28 ìì. ìàèðàààòñÿ àììàèÿ ìðìèæèèðàèùìñòù ìèèè 4 ñóòì, ìðè ÿòì ààðèàòèè ìáùàìíè àèàæìñòè à ñèààæèàð èìàð àèèðàèùìñòù ìèèè 25 ÷àñà ìà ñò. "Їðì". Àììàèÿ ñèèùìà ìðìæÿàòñÿ ìà èçìàðèèðàèùìè èèèè (2 - 4), ìðèàðèðìáìíè ì ñèèìíò, ààà ìðìàññù òèèùððàòèè è àðáìæà ìðìàèàð àìèåà àèèáì, ÷àì à ìðìáìèèèèèè ìàìàèèèè. ìàðèèèèè èèèÿ (1 - 3) òòìà÷àò ìáìà èìòáìñèáìð àììàèè. ÿèè ìðìàññù ìàèðààòñÿ à ààñáìèè ìðèè, èìàà òàÿìè ñìáìà òàèèà àùçùàààð ðàçàèèè òèèùððàòèè. Àìèèèè÷èà ñàçìíì àìçìóàìÿ ìñÿò ìèàáìé òàðàèèð, òìðì èìðàèèèðòñÿ ñ ìàðáìáìíè è ìàòò àìñòèààòù æÿ òààèùìð èçìàðèèèèè èèèè 35 ìÀ.



Условные обозначения

-  с.г.о. «Ала-Арча» Сейсмо-геофизическая обсерватория Ала-Арча методы исследований сейсмо метрия, режимная элетрометрия, деформационные и наклономерные наблюдения
 Действующие электрзонды: 1 – Ала-Арчинский электрзонд (ОМСЭ ИС КИРНИИЭ))
 2. Аламединский электрзонд (ОМСЭ ИВТАН)
 Приемные станции ОМСЭ ИС: а) стационарные, б) посещаемые
 Приемные станции ОМСЭ ИВТАН: а) стационарные, б) посещаемые
 -Пункты регистрации ЭТП

Рис. 5.1.10. Схема расположения станций ЭТП на Ала-Арча-Аламединском учатке Бишкекского полигона.

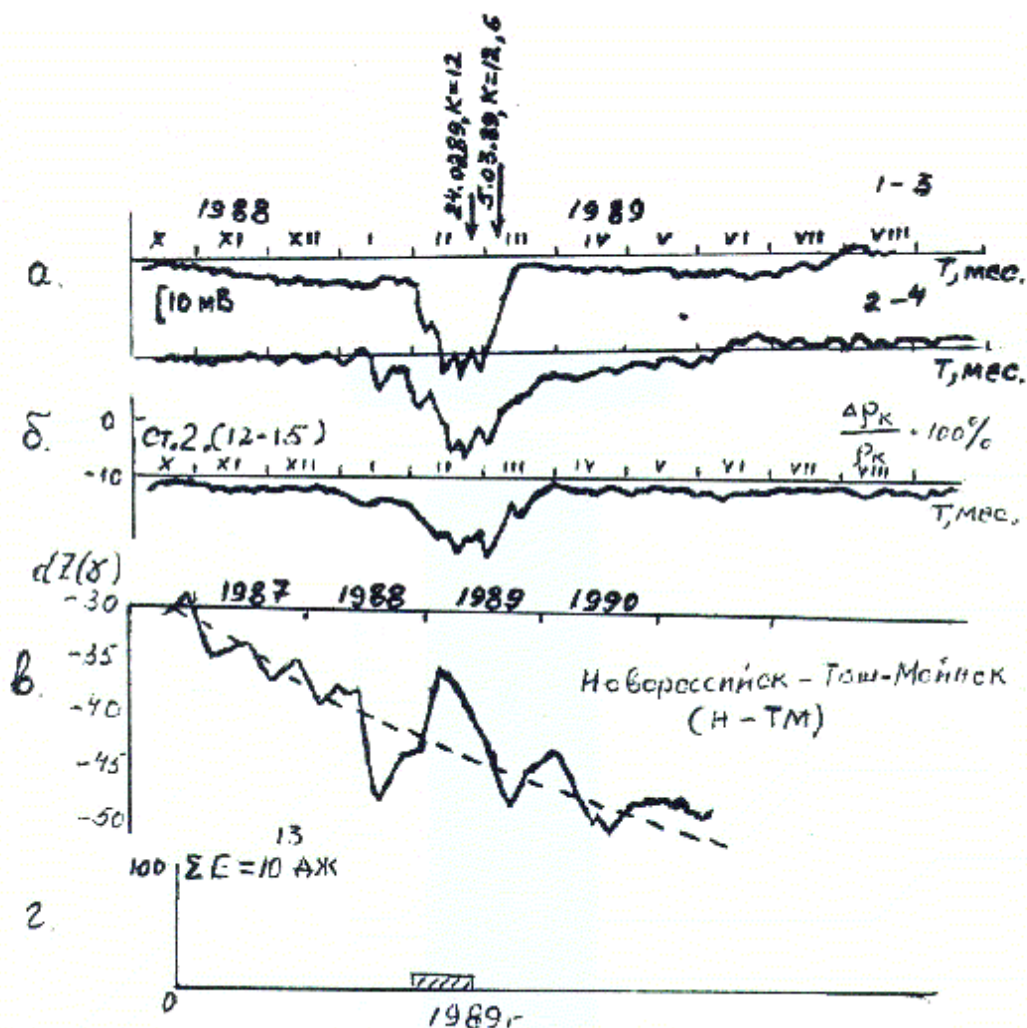


Рис.5.1.11. Изменения среднесуточных значений разности потенциалов ЭТП на ст. Орок /а/ и вариации электросопротивления

Р по данным электрозондирования на участке Ала-Арча /б/ /по Романову В.П./, временной ход среднемесячных величин ΔZ поля /разности значения относительно МВС Таиш-Мойнок/ за период 1987-1991 г.г./ в/ по Ким Л.Е./ и суммарная сейсмическая энергия в Дж. П данным ОМСЭ ИС НАН КР /г/. Стрелками указаны моменты возникновения землетрясений в феврале-марте 1989 г.

İà ðeñ. 5.1.11. İðääñðààæäü ãðàðèèè ñðääíáñóðî÷íüð çíà÷áíeé ðàçñíñòè ñðàíðeàeíâ ÝÒİ ìà ñðàíðeè "İðîe". Eíðáñeäíâ eçíáíáíeä óðíáíü ìà÷eíàðñü ñíà÷eà ðääðàeü ìáñüà, äñðeäãàð ìàñeíàeüñíe äæe÷eíü ìeíeí 25 ìÂ â ìððáíe ñeíáeíâ ðääðàeü, à ê ñððäæeíâ ìððà àñíàeü çàðððäð. İðíáíeæððeüññòü äå ññðàæüð ñí÷òè 1.5 ìáñüà, ìðe÷àí ðàçàeðeä üòíâ äñçíóáíeü ñeü ññeíáíí áíeäâ eðàðeñíðeíáíüè äàðeàðeüè àñeèððáíe ñðüæeà 7-10 ìÂ è æeððeüññòüð 1 - 3 ñóðîe.

İòíà÷áíüâ äàðeàðeè ìðüæeüðñü ìà eèíeüð ìðeæeðeüñíâ è øeððíñâ ìðñeððáíeü. Äñçíóáíeä ñeü ìððáíeíâ÷áñeíâ ìðeññíæääíeü â áíeèçeððáíüè ìðeíâ ìà

íàáèpääèèñü. Èçìáíáíëý íàðàííàðàíàððíâ ïî äàííüì íàðàííðàíöèè "Àèà-Àð÷à" ïðèääääíü íà ðèñ. 5.1.12..

Äëý ñðàáíáíëý ÝÒÏ ñ ðàçóëüòàðàèè ýèèèððííàððè÷-áñèèð èññèääííàíèé (måðíáí ÄÝÇ) ïèð÷áííüð íà ñðàíöèè "Àèà - Àð÷à", ðàñííèíèèííèè íà ðàñííðíýíèè 20 èì È Çàíàäò ïò ýíèðáíððà çàíèèððýñíáíëý, ïðèääääíü ààðèàðèè ρ_k (ðèñ. 5.1.11á) ïî äàííüì Ðííáííàà Á.Ì. Ðáæèííüà ýèèèððííàððè÷-áñèèð íàáèpääíëý íàðíáí ÄÝÇ çàáñü ïðíáíäýòñý ñ 1986 áíàà. Á èà÷áñðàà èñòí÷íèèâà òíèà èñííèüçòðòñý ðèðèñòíðíüà ïðáíäàçíààðàèè ïò ËÝÏ (íàðàííííáí òíèà 10 èÁ) ñ òíèí 200 Á. Íàððòçèíè èñòí÷íèèâà ýäèýäòñý ýèèèððè÷-áñèèè àèíèü àèèíèè 1000 ì. Ýèèèððè÷-áñèèè àèíèüíüè ïíáíò ñíñðààèèýè $1 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^5$ Àííðíàðð .

Прием сигналов осуществляется в системе из 5 станций. Максимальное удаление станций от считывающего диполя составляет 20км. Дискретность режимных наблюдений на станциях составляет 24 часа. Глубинность исследований около 6 км. Период импульсов равен 10 с. Длительность сеанса составляет 15 мин. При проведении наблюдения учета влияния помех на результаты обработки производится регистрация поля в течении нескольких десятков секунд как до сигнала так и после него.

Как видно из рисунка с февраля 1989г, отмечается понижение электросопротивления земной коры, достигающее минимума в период землетрясений на ст.2 (рис.5.1.11б) до 10-15 %, когда в обычные дни флуктуации ρ_k меняется до 2 % . Длительность возмущений составляет 2 месяца, т.е. наблюдается полное совпадение с периодом возмущений ЭТП и ρ_k по времени. Здесь же представлены изменения разностного dZ поля для МВС Новостройка - Таш-Мойнок. Поиск аномальных изменений во времени ходе геомагнитного поля ведется методом разностной обработки информации, используя ночные часы в магнитоспокойные дни. С декабря 1986 г. временной ход dZ составляющей имеет общий характер, выражающийся медленным понижением с различной скоростью. Аномальное понижение скорости поля составляет 0.5 нТл/мес. Аномальное понижение скорости dZ поля совпадает с периодом повышенной сейсмической активности в период землетрясений 24.02.89 и 5.03.89 г., и начинает стабилизироваться после спада сейсмической активности.

В целом, этот результат позволяет высказать гипотезу, что аномальные изменения ЭТП, ρ_k и dZ вызваны тектонической причиной и являются предвестниками группы землетрясений февраля - марта 1989г.

Как было указано выше, на фоне длиннопериодных бухтообразных аномалий часто проявляются более короткопериодные вариации ЭТП с амплитудой порядка 7мВ. Для того, чтобы отсечь длиннопериодные бухтообразные аномалии из анализа и рассмотреть только короткопериодные вариации при изучении ЭТП, нами был применен высокочастотный фильтр, который отсекает низкочастотную составляющую -

бухтообразные вариации ЭТП.

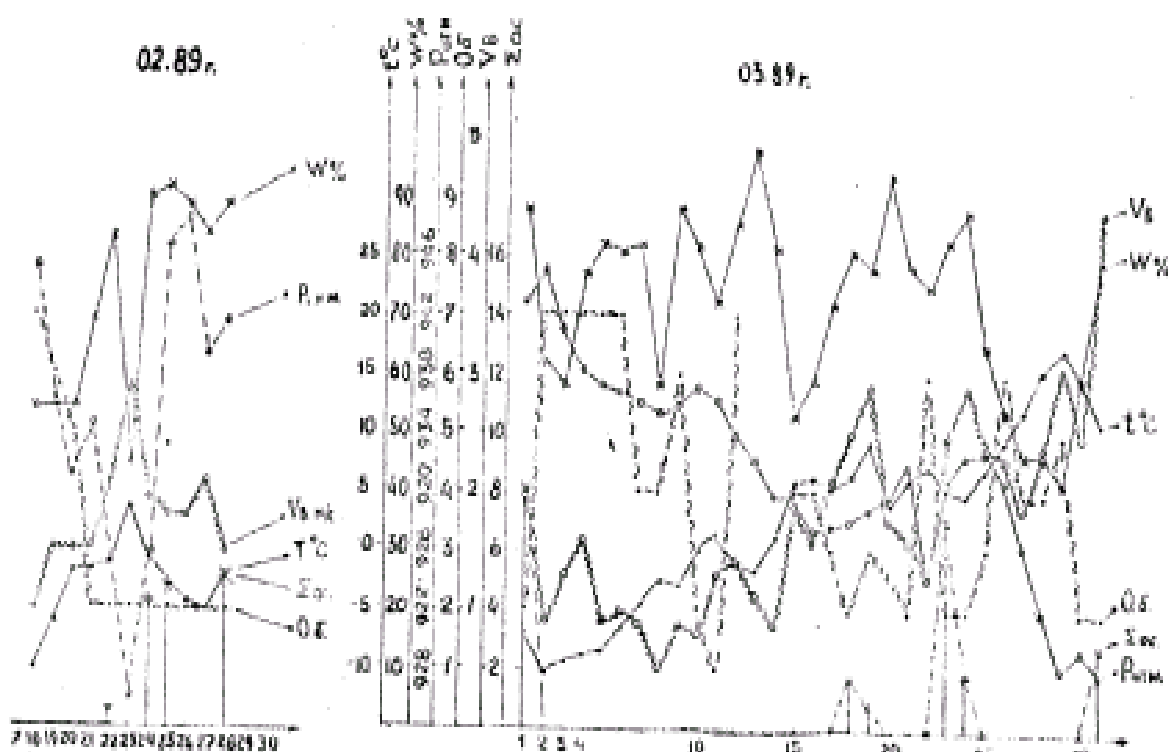


Рис. 5.1.12. Изменения метеопараметров по данным метеостанции «Ала-Арча»

Фильтрация производилась методом скользящего среднего с окном, которое представляет собой половину окна Гаусса, обращенную в прошлое (см. формулу 4).

Найдено среднеквадратичное отклонение σ отфильтрованных значений ЭТП и выделены значения, которые отличаются от среднего в 3σ раза и более, т.е. аномальные изменения ЭТП со следующим условием:

$$\text{если } 3\sigma \geq \frac{\varphi - \varphi_{\text{нб}}}{\sigma} = n\sigma, \quad ,$$

то значение φ является аномальным, т.е.

$$\varphi_{\text{ан}} = \varphi$$

За летний период 1990 г. произошло несколько землетрясений, эпицентры которых были расположены на разломах, связанных с Иссык - Атинским разломом, и на нем самом: 29 и 30 июля - на висячем крыле Иссык - Атинского разлома; 24 августа - на висячем крыле Шамсинско-Тюндукского разлома (табл. 5.1.2.1). Расположение разломов и эпицентры землетрясений указаны на рис.5.1.1.

Таблица 5.1.2.1

Дата	Время	Широта	Долгота	Энергетичес. класс	Расстояние до эпицентра, км
29.07	03.36	42.41	74.38	6.8	15
29.07	04.08	42.43	74.35	7.4	17
29.07	04.10	42.42	74.36	8.8	16
29.07	05.30	42.42	74.35	7.3	17
29.07	05.57	42.43	74.35	7.2	15
29.07	06.41	42.43	74.35	8.2	17
30.07	18.43	42.42	74.36	6.8	16
10.08	23.21	42.35	75.13	10.8	60
24.08	19.40	42.28	74.54	8.6	46

За 14 часов до события 29 -30 июля 1990 г. в канале 1 - 2 появились аномальные высокочастотные всплески, превышавшие σ в 7.7 раза и учащавшиеся до момента землетрясения. Сами события происходили, когда значение ЭТП было аномальным; через сутки поле постепенно успокоилось (рис.5.1.13).

Для события 10 августа 1990 г. характерно то, что в момент землетрясения аномалии по различным каналам не превышали 3σ .

Аномалии перед землетрясением 24.08.90 появились за три дня до события, затем начали периодически исчезать и достигли максимума 19.8σ в момент землетрясения (рис.5.1.14). Для событий 10.08.90 и 24.08.90 изменения $\varphi_{ан}$ по каналам 1 - 2 и 3 - 4, расположенным параллельно друг другу, различны: канал 3 - 4 почти в 8 раз чувствительнее канала 1 - 2. На землетрясения, происшедшие 29 - 30 июня, параллельные каналы отреагировали почти одинаково. Видимо это связано с тем, что замеры проводились почти в эпицентральной зоне. Если для каждого события рассмотреть $n\sigma$ в процентном отношении по каналам, то оказывается, что с увеличением расстояния до эпицентра землетрясения повышается информативность канала 3 - 4 относительно других каналов. А с учетом того, что эпицентры двух последних землетрясений располагались примерно в одном направлении (Юг-Восток) от пункта замеров, можно предположить, что источником короткопериодных возмущений ЭТП, отразившихся по каналу 3 - 4, могут быть инфразвуковые волны, которые пришли по одному и тому же каналу, что и канал 3 - 4, ближе к разлому, чем остальные.

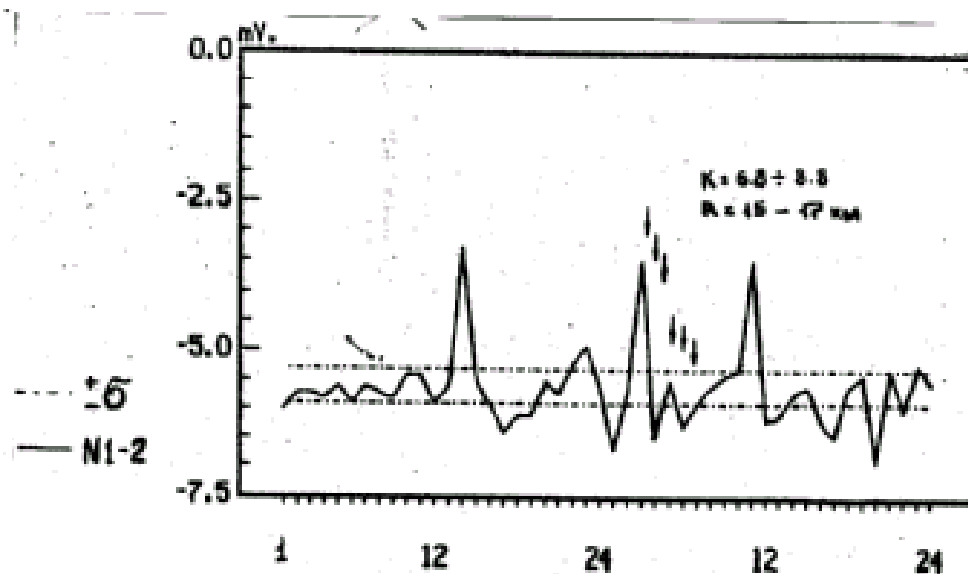


Рис. 5.1.13. ЭТП перед землетрясением 29-30 июля 1990 г. пунктирная линия указывает на нормальное распределение, взятое в плюс и минус от среднего.

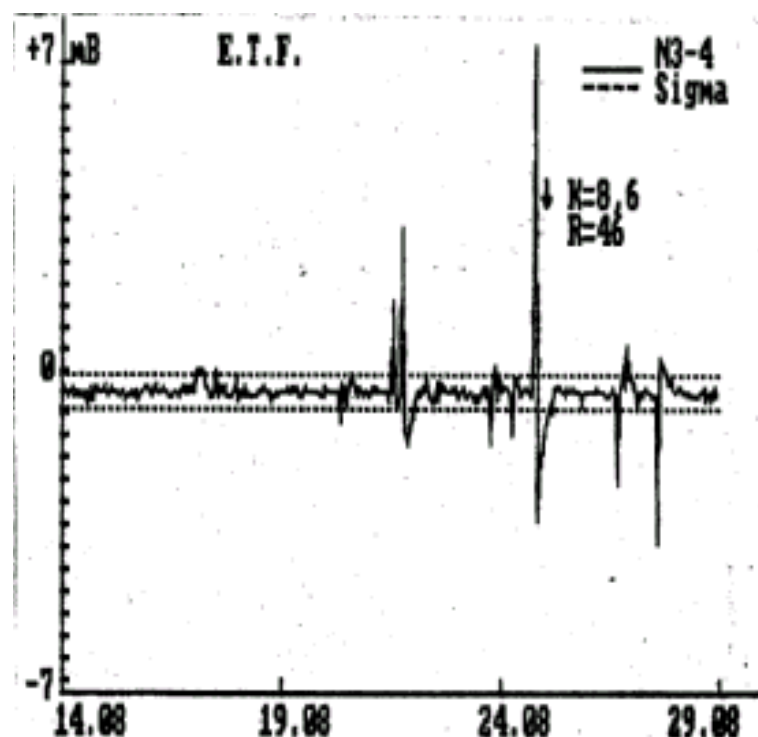


Рис. 5.1.14. ЭТП перед землетрясением 24 августа 1990 г. условные обозначения см на рис. 5.1.13.

Учитывая проявление высокочастотных короткопериодных аномалий перед всеми землетрясениями и их отсутствие в спокойные несейсмические дни, мы попытались создать ретроспективную модель для прогноза близких землетрясений, используя значения ЭТП, равные или большие 3σ .

Результаты работы модели выводятся в виде таблицы с указанием

времени появления аномалии, его отфильтрованного значения и $n\sigma$ - кратности превышения среднеквадратичного отклонения. Суммируя значения $n\sigma$, взятые по каждому каналу до первого толчка, определяют время будущего толчка путем сравнения суммарной величины $\sum n\sigma$ и скорости увеличения ЭТП с данными, полученными в результате обработки статистических данных вариаций ЭТП (табл. 5.1.2.2.),

Таблица.5.1.2.2

Результаты прогноза времени землетрясения по каналу 3 - 4

Дата	Время	Средн.	σ	ЭТП, мВ	$n\sigma=\varphi_{ан}$	Время ожид.события
21.08	13.00	0.5	0.4	1.6	5.2.	
21.08	18.00	-0.5	0.4	3.3	9.5	В течение 3 сут.
21.08	21.00	-0.5	0.4	-1.7	3.0	
23.08	18.00			-1.7	3.0	
24.08	18.00			1.2	4.3	В течение 31ч.
24.08	19.00			7.4	19.8	
24.08	20.00			-3.4	7.3	
24.08	21.00			-2.4	4.8	
24.08	22.00	-0.5		-2.2	4.3	
24.08	23.00			-1.8	3.2	

В последней колонке таблицы прогнозируется время землетрясения. Из нее видно, что модель работает за три дня до толчка.

Для качественного продолжения проведенных нами работ необходимо создание сети станций регистрации ЭТП. Пункты замеров следует устанавливать в зонах активных разломов.

5.2. Наблюдения вариаций вертикальной составляющей электротеллурического поля (ЭТП) перед землетрясениями

Исходя из того, что градиент давления в горизонтальной плоскости невелик и приводит к небольшим электрическим эффектам, нами с ноября 1991 года были организованы непрерывные измерения вертикальной составляющей ЭТП на скважине №1240. Основанием такого перехода являлось то, что в вертикальной плоскости, когда поровая жидкость свободно сообщается с поверхностью, при сравнительно быстрых изменениях объемной деформации возникает большой вертикальный градиент давления вблизи поверхности. Это в свою очередь может привести к значительной величине вариации электротеллурического поля.

Аппаратура, применяемая для регистрации вертикальной составляющей, описана в гл.3.4.

Многолетний опыт постановки и проведения работ по регистрации горизонтальной составляющей ЭТП в мире в диапазоне инфранизких частот дает основание утверждать, что уверенное выделение аномальных изменений в структуре поля встречает определенные трудности, связанные, в первую очередь, с несовершенством датчиков. То есть, непостоянство во времени собственной поляризации электродов, вследствие неравномерности электронных процессов, протекающих в области заложения датчиков, приводит к появлению возмущений поля, морфологически подобных аномальным.

В настоящее время известны различные типы неполяризующихся электродов, применяемых в геофизических исследованиях. Отметим электроды А. А. Петровского, широко известные электроды ВИРГ и А.С. Полякова, скваженные свинцовые хлорированные электроды, каломельные и хлорсеребрянные электроды, электрод Аркса, кадмиевый неполяризующийся электрод О.И. Дмитриенко, диффузионные электроды ЭМИТ, ЭСН и др. [276 - 283].

Основными недостатками перечисленных типов электродов применительно к описываемым работам являются:

1. Трудности в эксплуатации, потребность в создании специальных условий хранения и транспортировки;
2. Необходимость поддержания строго определенных условий, в первую очередь, концентрации и состава электролита в рабочем объеме электрода.
3. Сравнительно малый срок работы с сохранением постоянной э.д.с. собственной поляризации.
4. Сравнительно малая поверхность контакта электрода с окружающей средой, что в условиях заземления в грунте может привести к увеличению переходного сопротивления.
5. Необходимость определенного срока (1-2 месяца) для стабилизации собственной поляризации электродов после закладки в Землю.

Многочисленные продолжительные эксперименты, в том числе полевые, по оценки устойчивости электродного потенциала, для разных материалов и условий заземления были выполнены японскими исследователями Х.Ното и Т.Иосимацу [172,284], которые рассматривали стабильность собственных электродных потенциалов как "важный элемент наблюдений электротеллурического поля". При этом отмечается, что практически весьма сложно выдержать полную идентичность электродов и вмещающей среды, чтобы гарантировать отсутствие неравновесных электрохимических реакций.

Учитывая все вышеперечисленные недостатки неполяризующихся электродов, мы при регистрации вертикальной составляющей ЭТП,

впервые использовали нетрадиционный метод подбора электродов.

Система состоит из двух электродов, первым из которых является стальная обсадка скважины. Длина стальной обсадки составляет 1200 м. Второй электрод из медного провода, диаметром 20 мм расположен на глубине 1.5 м вокруг скважины диаметром 20 м. Сопротивления между электродами составляет 100 ом.

Почему выбран такой нетрадиционный подход при использовании электродов для регистрации ЭТП ? Это связано с двумя главными причинами. Во-первых, скважина и даже колодец являются чувствительными объемными деформометрами и прямо отражают изменения напряженно-деформированного состояния в земле [245].

В работе [285, 286] рассмотрены теоретические аспекты реакции уровня воды в скважине на вариации напряженного состояния в верхних слоях земной коры. Если скважина вскрывает водоносный горизонт, окруженный водонепроницаемыми пластами, то при условии пренебрежения течением воды в горизонте за интересующий нас интервал времени, изменение давления воды в нем Δp в функции объемной деформации ΔE будет выражаться уравнением:

$$\Delta p = -(2GB/3)[(1+\nu)/(1-2\nu)]\Delta E, \quad (5.2.1.)$$

где G - модуль сдвига породы в пласте,

ν - коэффициент Пуассона,

B - коэффициент Кемптона.

Изменение давления воды в обсаженной скважине прямо определяет вариации ее уровня. Уравнение (5.2.1.) дает возможность оценить величину изменения уровня воды

Δh при объемной деформации в результате действия, например, земного прилива. При величине приливной деформации $\Delta \varepsilon = 10^{-8}$ и значениях $G = 3 \cdot 10^5$ кг/см², $B = 0.8$, $\nu = 0.3$ следует ожидать изменения уровня воды на 0.5 см.

Естественно столб воды в скважине реагирует и на изменение барометрического давления Δb . Для изолированного водонасыщенного пласта эта реакция выражается формулой:

$$\Delta h = - (1/\rho g) [1 - (B/3)(1+\nu)(1-\nu)] \Delta b \quad (5.2.2)$$

где ρ - плотность,

g - ускорение свободного падения,

Δh - изменение уровня воды в скважине, м.

В работе [287] рассмотрены теоретические аспекты реакции уровня воды в скважине на вариации напряженного состояния в верхних слоях земной коры. Если скважина вскрывает водоносный горизонт, окруженный водонепроницаемыми пластами, то при условии пренебрежения течением воды в горизонте за интересующий нас интервал времени, изменение давления воды в нем Δp в функции объемной деформации ΔE будет выражаться уравнением:

$$\Delta p = -(2GB/3)[(1+\nu)/(1-2\nu)]\Delta E, \quad (5.2.1.)$$

ēēōīēīāē÷āñēīē īāīāīōīāīīñōē ó÷āñōēā ē ðàçēē÷ēē īīðīā īī óāāēūīīó
 yēāēōðīīñīōīōēāēāīēp āēy īāñō çāēāāīēy īāñāāēē ñīçāāpō īāðāāīmāpīīñōū
 yēāēōðīōēīē÷āñēēō īōīōāñīā īā īīāāðōīīñōē īāðāēēē÷āñēīāī yēāēōðīāā (ā īāðāī ñēō÷āā
 - īāñāāēē). Ōīðīā ñāyçē óðīāīy āīāū ē āā ēīēē÷āñōāī ā çīā÷ēðāēūīē īāðā īīðāāāēyāð
 ðāðāēðāð īōīðāēāīēy yēāēōðīōēīē÷āñēēō īōīōāñīā. Ā ðāçōēūðāðā ñīçāāpōñy āāðēāōēē
 yēāēōðīāīāī īīðāīōēāēā ðàçēē÷īē āīēēðōāū ē āēēðāēūīīñōē. Īā īīīīāā yōēð āçāēyāīā
 ñīçāāīā ñēñōāīā yēāēōðīāīā āēy ðāāēñōðāōēē ÝŌī īā ñēāāæēīā (ðēñ. ā āē.3).

Īā ðēñ.5.2.1. īīēāçāīā ñōāīā āāīēīāē÷āñēīāī ðàçðāçā, āāā ðāñīēīēāīā ñēā. ¹1240.

Āīēāā ÷āī 6-ðē ēāðīēē īāðēīā yēñīēōāðāōēē ēīīēāēðīā āīīāðāðōðū ā ñōāðēīāðīī
 ðāæēīā īōīāāīīñōðēðīāāē āā īāāāæīīñōū, īōīñōīðō ðāāēāīāīōīūð ðāāīð ē īīāðāðīðñēīāī
 īāñēōæēāāīēy. Āāñū ðāēðē÷āñēēē īāðāðēāē, āīāēēçēðōāīūē в yōīē āēāāā, īīēō÷āī на
 īīīīāā īīēñāīōīy ñēñōāīy yēāēōðīāīā.

Īōðāī ēāāīðēðēēāðēē ē ñēñōāīāðē÷āñēīē ēēāññēðēēāðēē īū īīūðāēēñū īāēðē
 īīðēīāēūīūā īñīāāīīñōē ēñēóññōāāīūū ē āñōāñōāāīūū yāēāīēē, īððāæāīūū ā çāīēñyō
 ÝŌī īā ððāð ÷āñōīðīūū āēāīāçīāð, ò.ā. īāðāīē çāāā÷āē áūēī ēçō÷āīēā ōīīāūū īōīōāñīā.

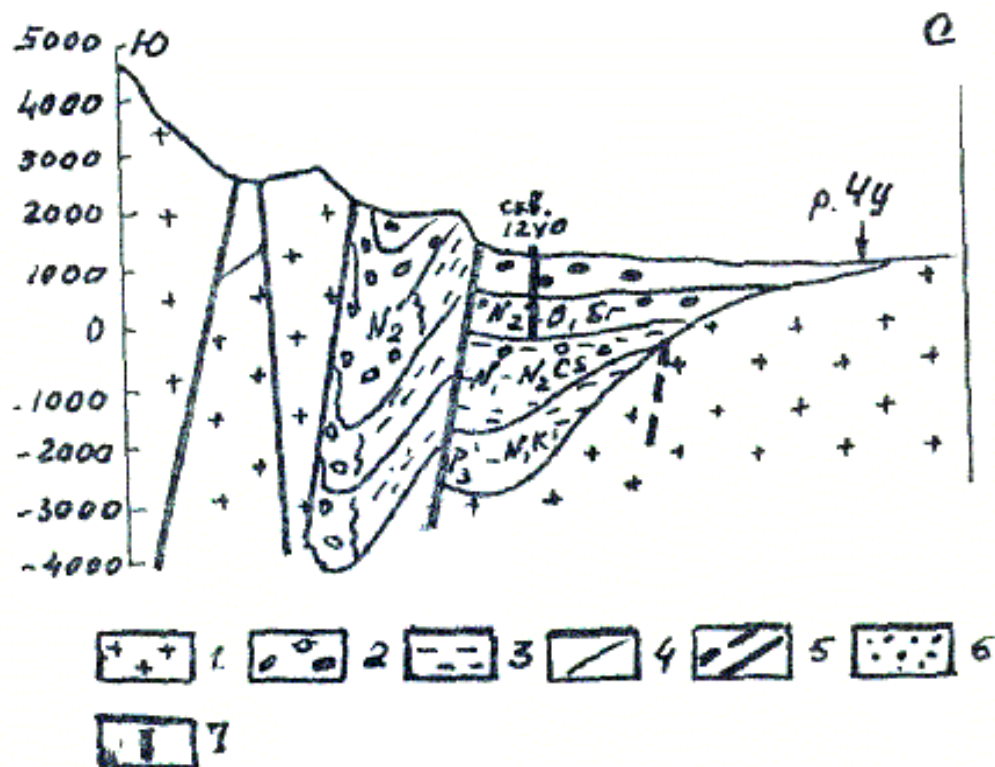


Рис. 5.2.1. Схема геологического разреза, где расположено скв. №1240. 1- палеозойский фундамент, 2 – песчаники, галечники, конгломераты, 3 – глинистые отложения, 4 – стратиграфические границы, 5 – разломы, 6 – впадины, 7 – скв. 1240.

5.2.1. Èñēóññōāāīūū (ðāñīēīēāīūū āīçīōūāīēy)

Āēy āūāāēāīēy ēñēóññōāāīūū āīçīōūāīēē, āūçāāīūū ðāñīēīēāīē āāyðāēūīīñōūp,
 ò.ē. ñōāīōēy īāāēpāāīēy īāññōāñōāāīī ðāñīēīēāīā ā ÷āððā āīðīāā Āēðēāē,

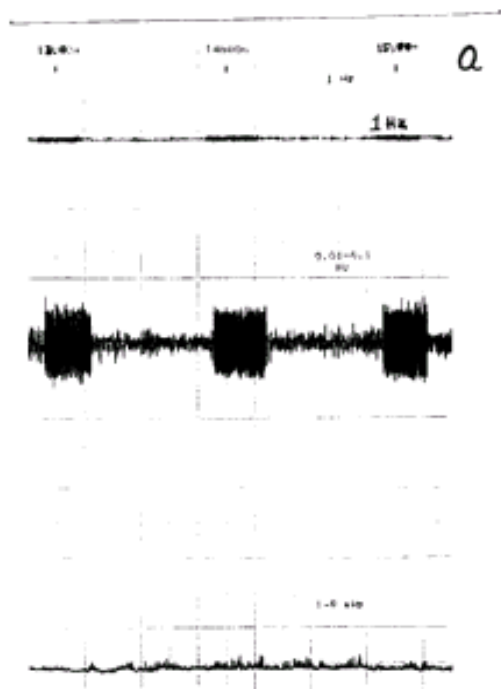
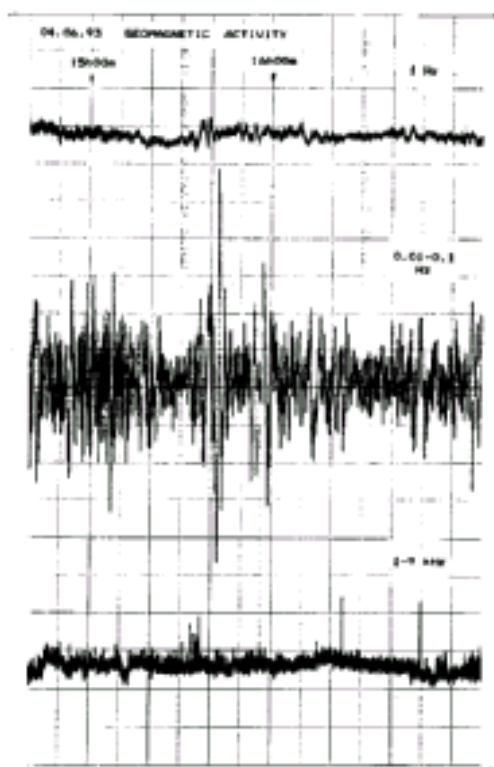


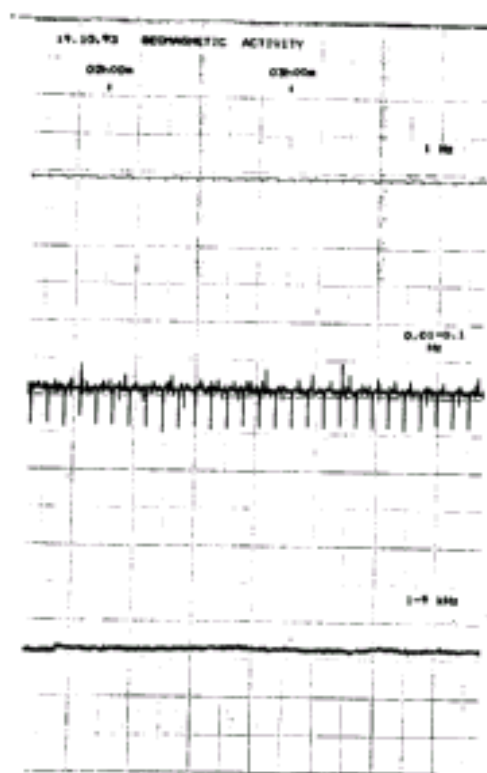
Рис. 5.2.2.а. Записи
суточного хода в рабочие дни.



Рис. 5.2.2.б. Записи
суточного хода выходных дней.

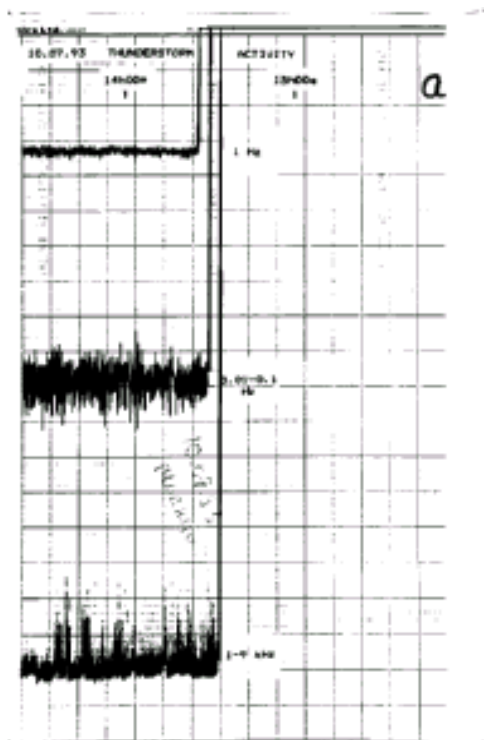


Медленное вступление

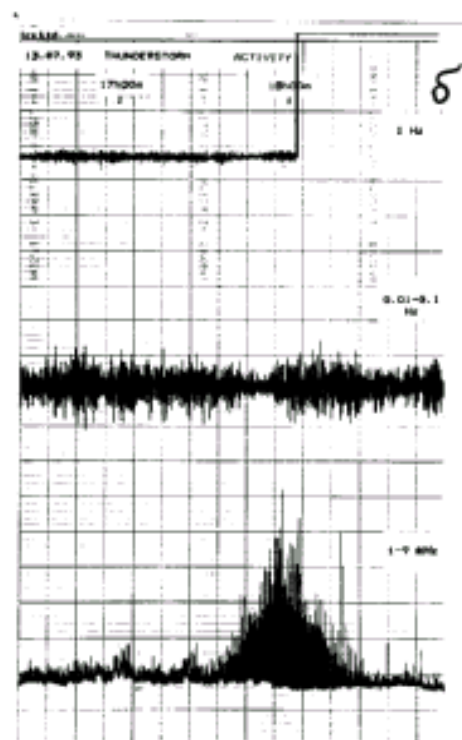


Быстрое вступление

Рис.5.2.3 Примеры возмущений ЭТП, вызванных геомагнитной активностью (магнитные бури).

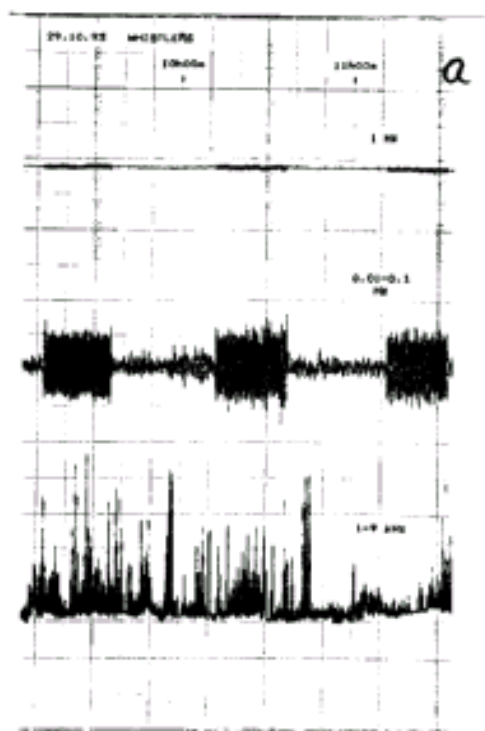


Близкие

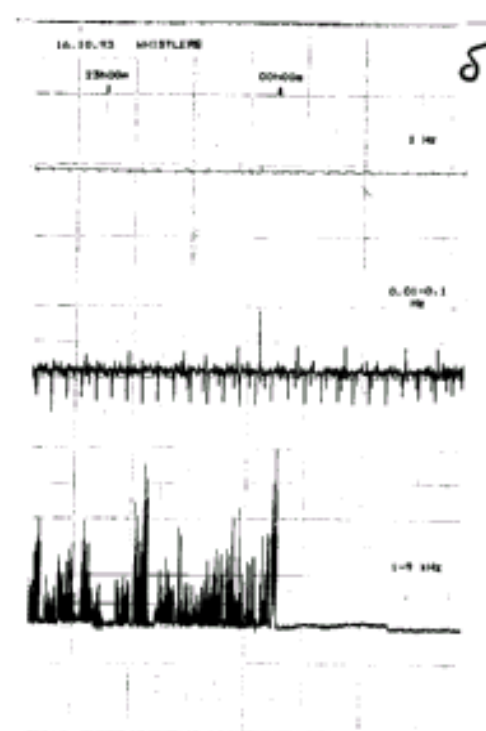


Дальние

Рис. 5.2.5. Воздействие грозовой активности



Только 1-9



Во всех диапазонах

Рис. 5.2.5. Влияние атмосферников на фоне магнитной бури.

Воздействия вистлеров, как правило, не приводят к срабатыванию защиты и отражается только на канале 1-9 кГц. Появление вистлеров,

согласно с существующим представлением, определяется метеорологическими условиями в магнитосопряженной точке. Этим и объясняется суточная вариация числа появления вистлеров . На примере рис.5.2.5а и рис.5.2.5б (на фоне магнитной активности) показано влияние вистлеров на 3-х-частотные диапазоны.

5.2.4. Трендовый характер годового хода

Трендовый характер годового хода ЭТП в диапазоне 1 Гц, анализировался по A/A_0 т.е. отношению среднечасовых амплитуд за месяц к среднечасовым амплитудам. Они представлены на рис.5.2.6. Как следует из этого графика, наименьшие значения ЭТП наблюдаются в зимний период (декабрь-февраль), а наибольшие в летний период (июль-август). Абсолютная величина максимумов и минимумов для одних и тех же сезонов, а также их положение может несколько меняться от года к году.

5.2.5 Анализ связей аномалий ЭТП с сейсмичностью

В пределах Бишкекского полигона с 1992 года произошло несколько землетрясений, сильнейшее из ($M=7.3$) которых 19 августа 1992 года имело энергетический класс $K=17$. Кроме того, рассматривались события с $M \geq 3.8$ в смежных регионах, происшедших на расстоянии до 450 км от пункта регистрации. Список таких сейсмических событий приведен в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Дата	Координаты	км	м	Дата ПС	Время ПС	A1 mV	A2 mV		+ -
1	21.05.92	41'00'' 72'28''	260	4,4	14.03.92	12ч30м- 13ч10м	-20	-40	8	+
	19.09.92	42'04'' 73'38''	120	7,3	06.06.92	13ч20м- 13ч50м	-50	-150	75	+
					10.08.92	07ч00м- 09.00м	-50	-90	71	
					14.06.92	08ч40м- 10ч00м	-50	-90	67	
						12ч10м- 12ч30м	-50	-100		
						13ч50м- 14ч10м	-50	-100		
					18.06.92	10ч40м- 12ч00м	-50	-90	63	
						13ч20м- 13ч40м	-40	-80		

					19.06.9 2	07ч50м- 08ч50м	-50	-100	62	
						12ч20м- 14ч00м	-50	-90		
					22.06.9 2	07ч20м- 08ч40м	-50	-100	59	
						14ч20м- 15ч20м	-50	-100		
3.	18.10.9 2	42'11'' 73'13''	133	5.1	02.10.9 2	13ч40м- 14ч50м	-40	-50	17	+
					03.10.9 2	12ч20м- 12ч40м	-30	-50	16	
					06.10.9 2	12ч40м- 13ч00м	-50	-50	13	
4.	06.11.9 2	41'06'' 72'12''	275	4.7	30.10.9 2	15ч00м- 16ч00м	-20	-40	7	+
5.	24.12.9 2	42'20'' 72'13''	220	5.0	11.12.9 2	14ч20м- 14ч40м	-35	-60	14	+
					17.12.9 2	12ч20м- 14ч30м	-40	-70	8	
6.	27.01.9 4	40'42'' 72'42''	285	3,9	21.01.9 4	12ч00м- 12ч10м	-10	-20	6	+
7.	20.02.9 5	41'17'' 72'25''	250	4,8	13,02,9 5	12ч00м- 12ч55м	-20	-40	8	+
8.	25,02,9 9	40'04'' 77'37''	390	4,6						
9.	29.03.9 5	41'44'' 79'00''	390	4	23,03,9 5	10ч30м- 11ч41м	-30	-50	6	+
10.	14.05.9 5	40'01'' 77'91''	403	4.9						-
11.	19.09.9 5	42'21'' 70'30''	340	4,7						-
12.	28.09.9 5	41'06'' 71'53''	33	3.5	22.09.9 5	09ч26м- 11ч00м		-25	6	+
13.	09.10.9 5	41'06'' 71'53''	295	5,3	02,10.9 5	12ч20м- 12ч40м	-28	-50	6	+
14.	14.01.9 6	42'38'' 50''	74' 265	4,5	07.01.9 5	10ч20м- 10ч50м	-40	-80	7	
15.	18.01.9 6	41'53'' 28''	77' 254	4	05.01.9 6	12ч00м- 13ч20м	-30	-40	13	+
16.	19.03.9 6	39'57'' 46''	76' 363	6,2						-
17.	22.03.9 6	39'57'' 76'48''	366	5,4						-
18.	14.05.9 6	41'34'' 74'59''	249	5,0	05.05.9 6	12ч00м- 13ч20м	-30	-60	9	
19.	10.06.9 6	41'16'' 75'56''	201	4.5	20.05.9 6	01ч45м- 08ч30м	-25	-50	10	
20.	12.06.9 6	42'10'' 73'17''	130	3.8	08.06.9 6	13ч00м- 13ч20м	-15	-25	6	

21.	15,06,9 6	42'28" 72'58"	140	4,5	08.06.9 6	14ч00м- 14ч50м	-30	-50	7	
22.	17,06,9 6	42'34" 72'50"	138	3,7	12.06.9 6	13ч50м- 14ч10м	-20	-25	5	
23.	21.01.9 7	39'19" 77'12"	440	5,5						-
24.	01.03.9 7	39'14" 76'50"	435	6,8						-
25.	05.03.9 7	41'08" 75'54"	215	5,0	21.02.3 7	12ч40м- 13ч00м	-30	-40	13	+
26.	05.04.9 7	39'30" 76'50"	408	7,0	10.03.9 7	10ч20м- 10ч40м	-35	-60	16	+
27.	11.04.9 7	39'27" 77'00"	420	7,0	24,03,9 7	09ч10м- 19ч30м	-25	-50	18	+
28.	15.04.9 7	39'06" 77'00"	455	7,0	02,04,9 7	14ч15м- 14ч40м	-30	-50	14	+
29.	13.08.9 7	42'18" 79'46"	422	4,8	09,08.9 7	12ч00м- 14ч40м	-30	-60	5	-

В таблице 5.2.1 показаны графы, где : 1- дата ЗТ; 2- координаты ЗТ; 3- расстояние (R) до ЗТ; 4- магнитуда (М) ЗТ; 5,6- дата и время (LT=UT+5ч) проявления предвестникового сигнала (ПС); 7 -амплитуда (A1)ПС на канале 0.01 - 0.1 Гц; 8- амплитуда (A2) ПС на канале 1Гц; 9- количество дней (Q) до ЗТ; 10- наличие (+) или отсутствие (-) возмущений ЭТП предшествующих землетрясениям.

На рис. 5.2.7 (а-е) представлены примеры предвестниковых сигналов (ПС), принадлежащих конкретным ЗТ, показанным в таблице 1. Как видно из представленных рисунков на ПС, срабатывают синхронно каналы 0.01 - 0.1 Гц и 1 Гц. Исходя из этого, мы сделали количественную оценку амплитуды ПС в mV по этим каналам, представленную в графе 7 и 8 таблицы 1.

Первое вступление импульса ПС на канале 0.01 - 0.1 Гц отражается в уменьшении значений mV и на канале 1 Гц наблюдается аналогичное уменьшение значений mV. В соответствии с этим вычисление ПС на канале 0.01 - 0.1 Гц производилось в отрицательных значениях амплитуды и полученные данные усреднялись, При расчете амплитуды ПС на канале 1 Гц, в отличие от предыдущего, учитывался трендовый характер годового хода (рис.5.2.6.), который заключается в минимальных значениях mV в летний период (Июль - Август), и максимальных - в зимний период (Декабрь - Февраль), и принимая это в расчет, бралось среднее значение суточного хода (без амплитуды ПС) для данного времени, как фоновое значение, и относительно этого фона выделялась амплитуда ПС и полученные данные усреднялись.

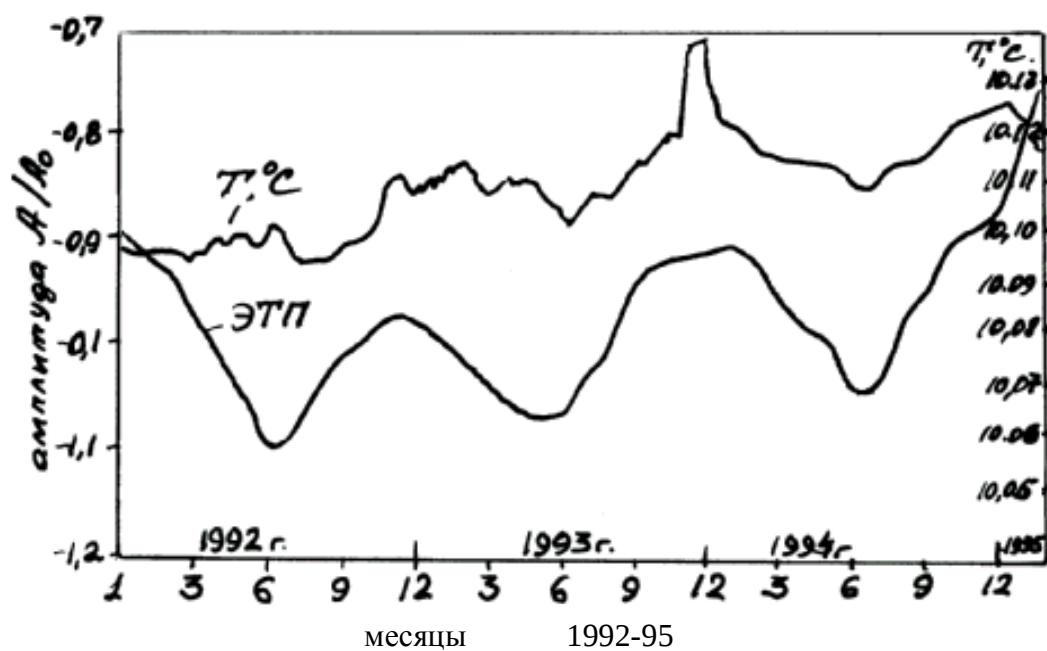


Рис. 5.2.6. Трендовый характер годового хода ЭТП и температура воды ($n=350$ м) за период 1992-1994 г.г.

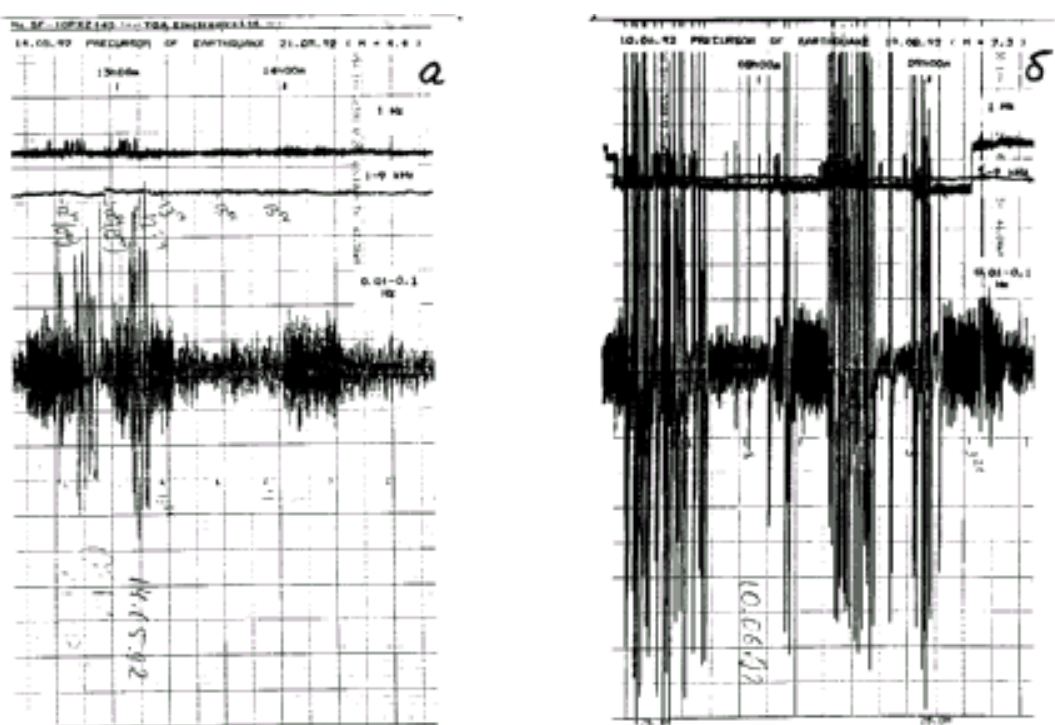


Рис. 5.2.7 (а,б) Изменение ЭТП перед 3Т от 21.05.92 г. с $M=4,4$ и перед 3Т от 19.08.92 г. с $M=7,3$.

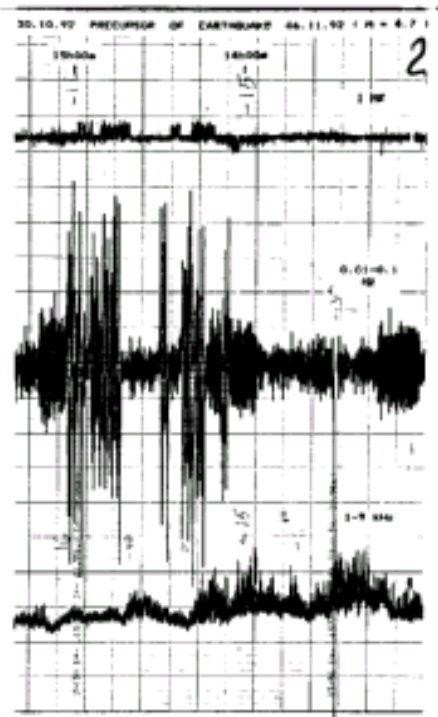
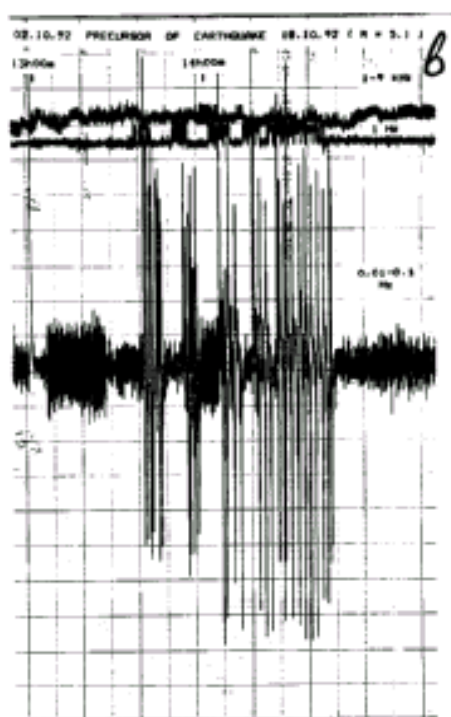


Рис. 5.2.7. (в, з). Изменение ЭТП перед ЗТ от 18.10.92, с $M=5,1$ и перед ЗТ от 6.11.92 г. с $M=4,7$

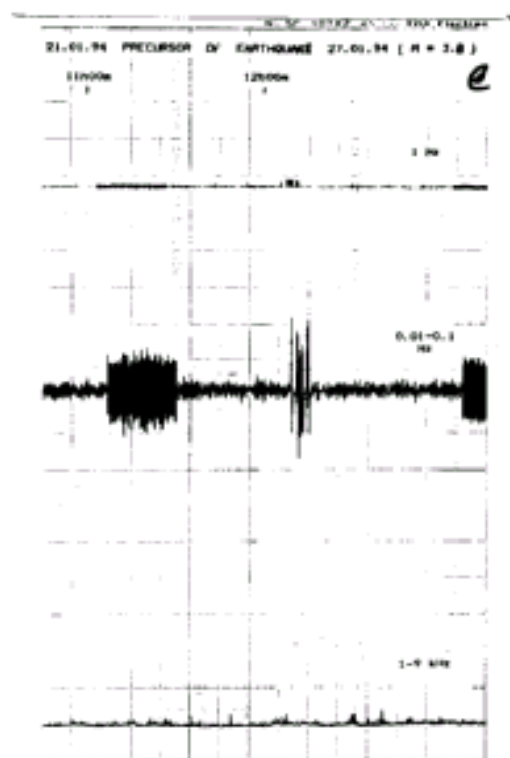
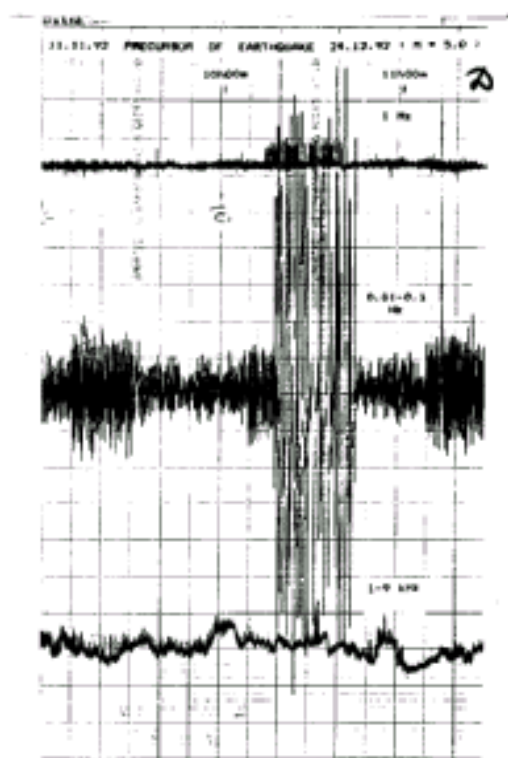


Рис. 5.2.7. (д, е). Изменение ЭТП перед ЗТ от 24.12.92, с $M=5,0$ и перед ЗТ от 27.1.94 г. с $M=3,8$

Обсуждение и выводы

Регистрация и анализ изменений вертикальной составляющей электротеллурического поля Земли позволяет сделать вывод о том, что искусственные и естественные явления отражённые в записи, имеют свои характерные особенности на 3 частотных диапазонах, представленные в таблице 2, и могут быть выделены при данной методике обработки данных.

Таблица 5.2.2.

N	Явления	Отражения на диапазонах		
		0.01-0.1 Гц	1 Гц	1-9 кГц
1	Искусственные (техногенные) возмущения	Да	Да	Нет
2	Геомагнитная активность	Да	Да	Нет
3	Грозовая активность	Да	Да	Да
4	(Вистлеры) Атмосферики	Нет	Нет	Да
5	Предвестник, сигнал (ПС)	Да	Да	Нет

Практика прогностических исследований показала, что при обработке данных существенно расширяется возможность эксперимента в реальном времени (LT), так как временная аномалия наблюдаемого поля может интерпретироваться, как ПС, исходя из времени проявления ПС в LT. На рис 5.2.8 представлена графа 6 таблицы 5.2.1 (проявления ПС в течении суток LT) и частота их встречаемости для данного вариационного ряда.

Объяснение времени проявления ПС (в интервале $07ч\ 00m < LT < 16ч\ 00m$) вытекает из самой природы проявления ПС при данном методе измерения ЭТП. Как известно, солнечный ветер приводит к возникновению многочастотного с высокой энергией ионизирующего излучения в земных полюсах. Это излучение, в свою очередь, рассеивается в неполюсные области, и когда рассеяние вертикального тока Земли находится в допустимом пределе, то отражение приповерхностных и подземных аномалий может быть измерено [288] .

Допустимый предел определяется временем проявления предвестника ЗТ, которое фиксируется на диапазоне 1-9 кГц, где отчетливо выражен переход от ночного максимума к дневному минимуму и от дневного минимума к ночному максимуму (рис.5.2.9.) (так называемые восходно-заходные эффекты Солнца), учитывая, что каждому дню соответствует свое время перехода. А отражение приповерхностных и подземных аномалий фиксируется на диапазонах 0.01 - 0.1 Гц и 1 Гц. Исходя из того,

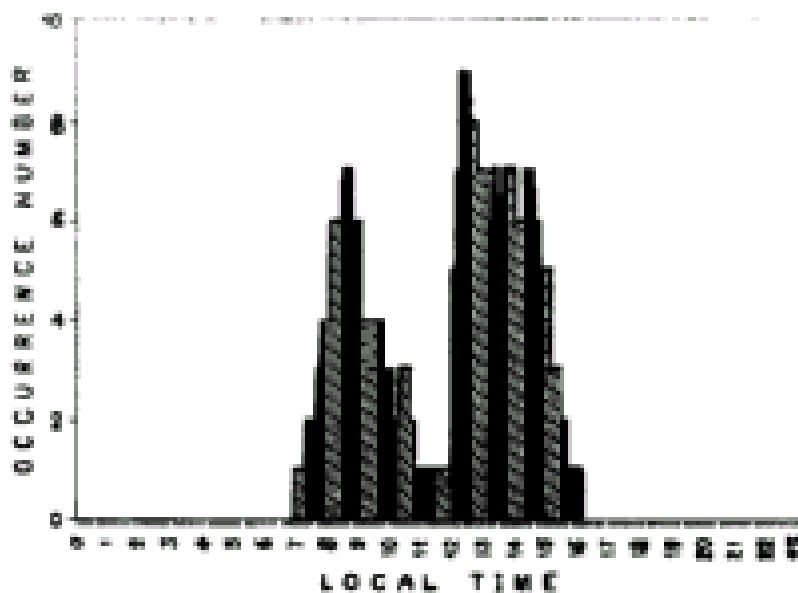


Рис. 5.2.8. Проявление ПС в течении суток
Р

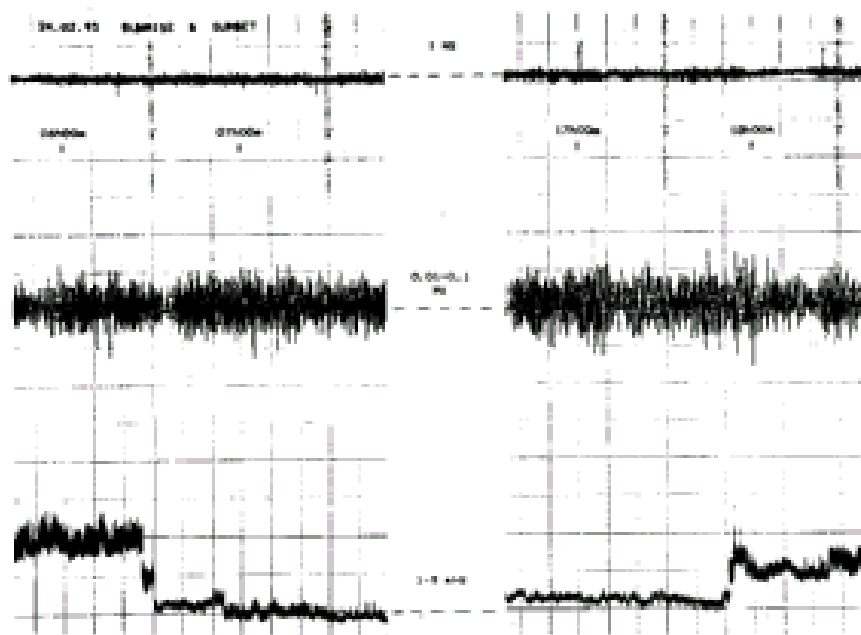


Рис. 5.2.9. Восходно-заходные эффекты Солнца на вариации ЭМП.

что диапазон 1 - 9 Гц не подвержен влиянию геомагнитной активности (магнитные бури) и ионизирующего излучения, вызванных солнечным ветром, объяснить суточный ход этого диапазона можно, если учесть влияние солнечного ветра на всю структуру силовых линий геомагнитного поля Земли на дневной и ночной стороне.

Далее из таблицы 5.2.1. графа 9, мы выделяем 2 типа землетрясений, характеризующихся количеством дней, в течении которых проявляются ПС. К первому типу относятся ЗТ №1, 4, 6, для которых возмущения

проявляются, как правило, не более 1 дня. Ко второму типу - ЗТ №2, 5, 3 возмущение проявляется более одного дня. Здесь мы отмечаем следующее, что для первого типа очаги ЗТ находятся в имеющихся зонах разрывов (разломов), а для второго типа ЗТ - с образованием новых разрывных нарушений среды. Таким образом, возможно условное прогнозирование места, определяемого геологическими условиями.

Рассмотрим подробнее некоторые примеры. Анализ изменений гидрогеодинамических параметров в период Суусамырского землетрясения (19.08.92, $M=7.3$) представленных заведующим отделом прогноза землетрясений Мамыровым Э.М. показан на рис.5.2.10.

Из рис.5.2.10 видно, что за рассматриваемый период изменения уровня подземных вод и избыточного давления на наблюдательных скважинах укладывались в пределах расчетных доверительных интервалов до момента основного толчка Суусамырского землетрясения, происшедшего на расстоянии 100-180 км от наблюдательных точек. Уровень полей не вышел за пределы доверительного интервала только на скважине 1097, хотя отмечены значительные импульсные изменения. На скважине 1254 при величине доверительного интервала ± 12 см от расчетного среднего, величина аномального падения уровня составила 34 см, На скважине 1440 при величине доверительного интервала ± 10 см, аномальное падение уровня не превысило 12 см. Наибольший эффект зафиксирован на скважине 909, где при доверительном интервале ± 25 см отмечено резкое повышение уровня на 70 см. Обращает на себя внимание тот факт, что величина аномального изменения выше на тех скважинах, доверительный интервал на которых больше. Поскольку величина интервала рассчитывается в зависимости от интенсивности короткопериодных колебаний, обусловленных барометрической и приливной эффективностью скважины, эти данные, в целом, подтверждают высказанные ранее предположения о наибольшей информативности скважин с высокими коэффициентами приливной и барометрической эффективности для прогностических целей.

Другой важной, на наш взгляд, закономерностью, выявленной при анализе представленных данных, является различие в знаке аномальных изменений гидрогеодинамических показателей для разных водоносных систем. В скважинах 1097, 1440, 1254, вскрывших водоносные комплексы Восточно-Чуйского артезианского бассейна, отмечается резкое падение уровня, в то время как в скважине 909, а также в скважинах 3 и 6 Иссык-Атинского месторождения термоминеральных вод, принадлежащих к гидрогеологическому массиву Киргизского хребта, зафиксировано значительное повышение уровня подземных вод и избыточного давления.

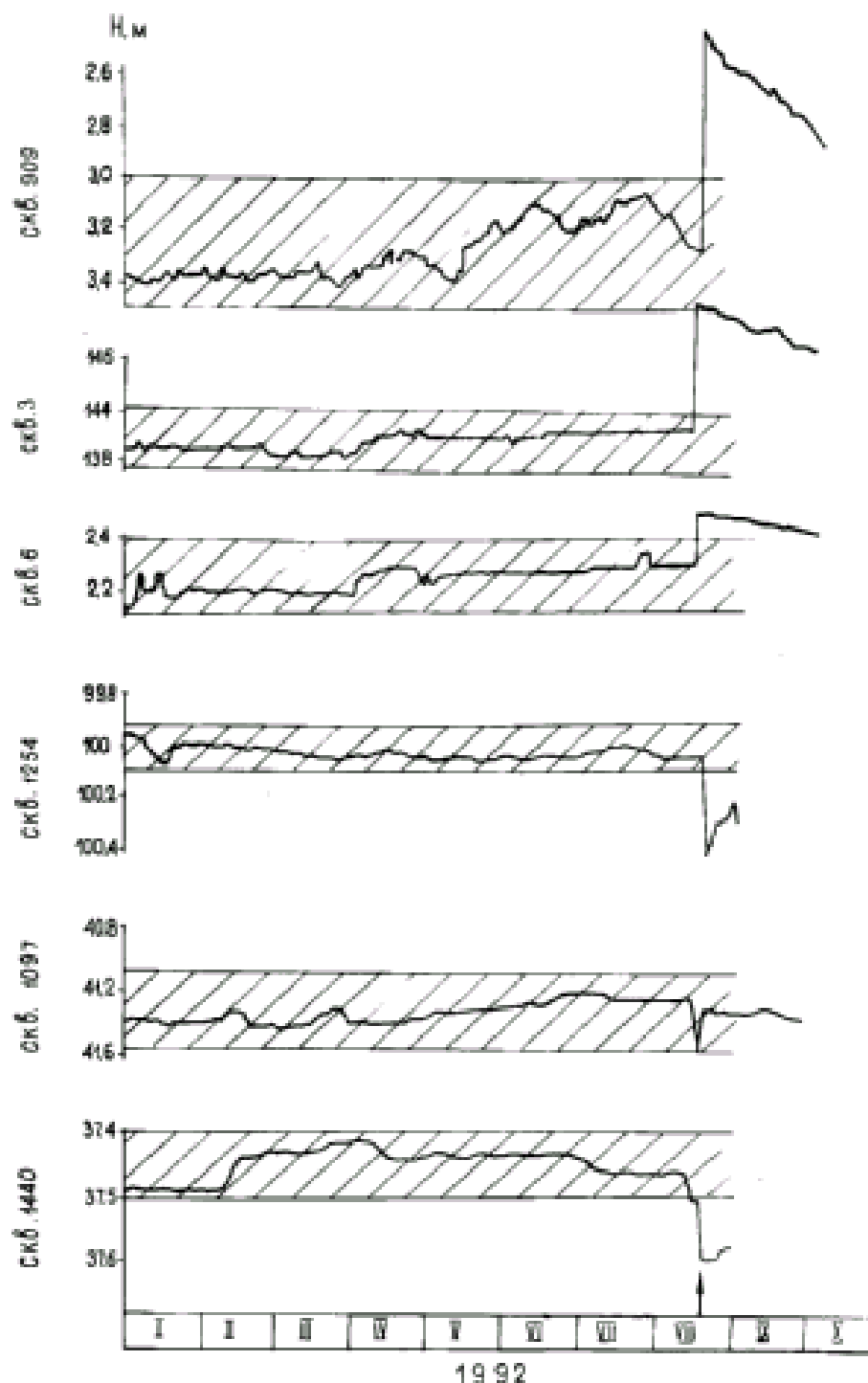


Рис. 5.2.10. изменения Уровня подземных вод и избыточного давления в связи с Суусамырским землетрясением (по Оролбаеву Э.О.).

При объяснении этого явления следует, по-видимому, исходить из того, что в условиях сложной геодинамической обстановки района, обусловленной, по мнению О.К.Чедия [289] интенсивными вертикальными движениями и значительным субмеридианальным тангенциальным сжатием, происходят различные по знаку деформации в артезианском

бассейне и гидрогеологическом массиве, принадлежащих разным структурам. При погружении земной поверхности, вскрываемые скважинами пласты испытывают относительное сжатие, а при ее воздымании - растяжение, что вызывает соответственно повышение или понижение уровня подземных вод.

Дополнительным аргументом в пользу этого предположения являются результаты совместного анализа данных изменения деформации приповерхностного слоя земной коры, измеренной штанговым деформографом на станции Ала-Арча и уровня подземных вод в скважине 909. Ранее [290] в результате изучения корреляционных связей между ходом деформаций и уровня подземных вод было установлено, что они заметно коррелируют между собой. Коэффициент корреляции между деформацией и уровнем подземных вод $r=0.73 - 0.85$ при сдвигах от 0 до 3 часов. При этом коэффициенты, характеризующие изменение уровня при соответствующих деформациях, составляют $1 \text{ см}/0.6-1 \cdot 10^{-8}$. Полученные данные указывают на генетическую связь региональных деформаций и уровнем подземных вод.

Из рис.5.2.11. на котором представлен ход уровня подземных вод в скважине 909 м деформации в направлении С-Ю (расстояние от скв 909 и деформометра до пункта наблюдения - 3км), видно, что при детальном рассмотрении изменений уровня отмечаются три бухтообразных понижения на 10-15 см (на рисунке эти участки заштрихованы), после каждого из которых происходили сильные землетрясения (Кочкор-Атинское, его сильнейший афтершок и Суусамырское). Примерно в это же время отмечены деформации сжатия интенсивностью $2-4 \cdot 10^{-7}$. Однако наибольшие величины изменения деформации и уровня подземных вод зафиксированы в момент основного толчка Суусамырского землетрясения 19 августа 1992 г.

По электротеллурическим полям мы обнаружили в первые сигнал за 75 суток до главного толчка (рис.5.2.7б.), т.е. 6 июня 1992 г. Если сравнивать данные, то заметно, что появление первого сигнала соответствует 2-му максимальному изменению уровня воды в скв.909, а именно к 6.06.92г. (образ сигнала представлен в рамках этих максимальных изменений).

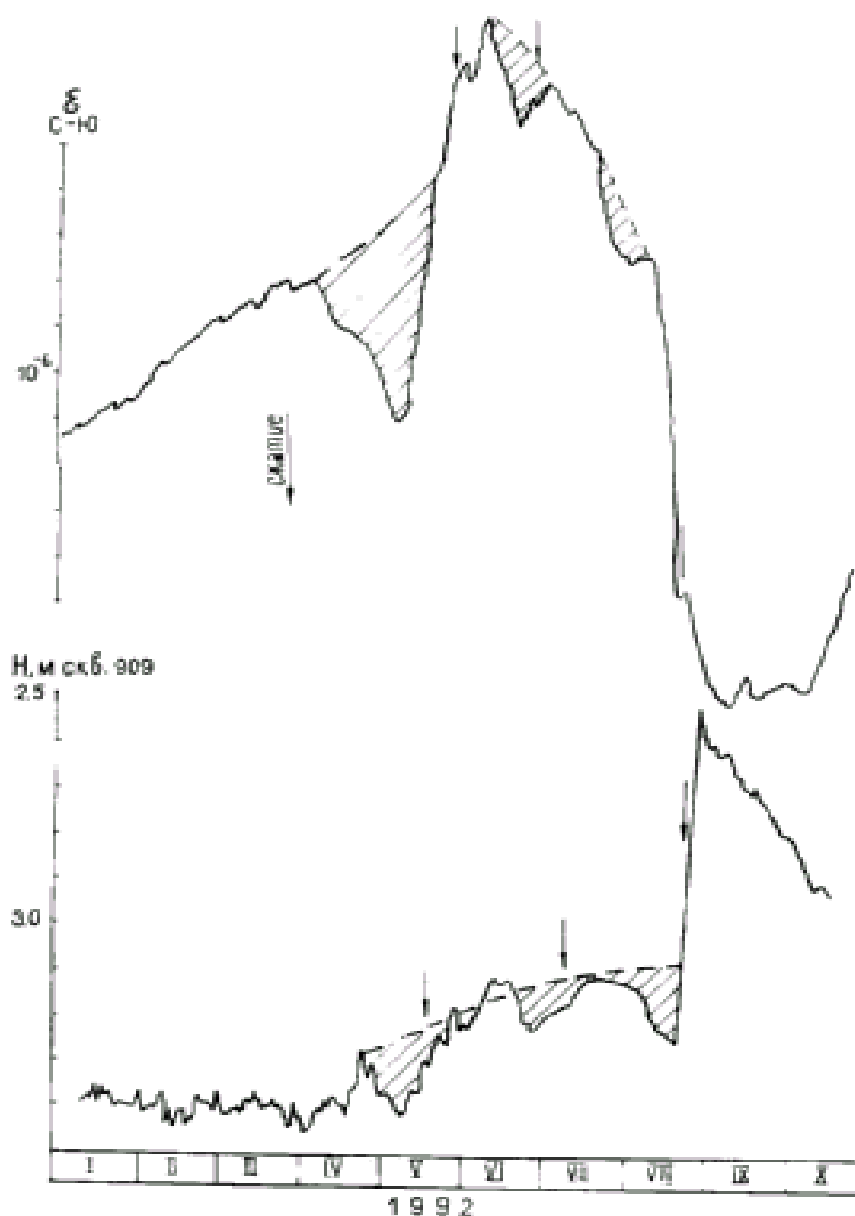


Рис. 5.2.11. Сопоставление хода деформаций приповерхностного слоя земной коры в направлении С-Ю на ст. Ала-Арча с изменением уровня подземных вод скв. 909 и ЭТП в скв. 1240.

Эти данные указывают, во-первых, на реальную реакцию уровня подземных вод в скв. 909, расположенной в гидрогеологическом массиве, на деформации приповерхностного слоя земной коры, связанные с тектоническим процессом. Во-вторых, если квалифицировать указанные изменения как предвестники землетрясений, то прогнозные сигналы по ЭТП проявляют себя после месячного начала изменения уровня подземных вод. Полученные данные указывают на связь региональных деформаций с уровнем подземных вод, а также изменениям ЭТП на скважине.

Как известно из литературных данных [291,292,203,294,295,296] в классической постановке задачи прогноза землетрясений устанавливается

связь длительности и радиуса зоны проявления предвестников землетрясений с их энергией. Обычно корреляционные зависимости между этими параметрами и энергией землетрясения выражаются в виде уравнения регрессии

$$\lg T = a_T + b_T \bullet M$$

либо $\lg R = a_R + b_R \bullet M$

где Т - время, R- радиус зоны проявления предвестника,

а, b - эмпирические коэффициенты уравнения регрессии,

М - магнитуда землетрясения (часто вместо магнитуды М используют класс землетрясения К, где $K = \lg E$, Е- энергия землетрясения.)

Следуя логике вышеупомянутых работ с использованием табличных данных (табл.5.2.1.), сейсмических событий с магнитудой $M \geq 3.8$, в результате анализа получены корреляционные соотношения зависимости между магнитудой землетрясения М и амплитудой сигнала А.

Для диапазона 0.01 - 0.1 Гц получено следующее уравнение :

$$M = -0.082A + 2.7,$$

для диапазона 1 Гц :

$$M = -0.043A + 2.9$$

где 2.7 и 2.9 - некоторые коэффициенты для данной станции. Графики регрессионной зависимости между магнитудой М и амплитудой А показаны на рис.5.2.12.

Получены корреляционные соотношения зависимости между временем ожидания Т (или так называемого, "затишья" перед землетрясением) и магнитудой землетрясения М.

Количество дней до ожидаемого землетрясения исчислялось со дня проявления последней аномалии. Эту взаимосвязь удалось описать следующим уравнением:

$$\lg T = 0.31 \bullet M - 0.49$$

Графики регрессионной зависимости времени ожидания Т и магнитуды М приведены на рис.5.2.13.

На основе этих полученных результатов в 1995 году мы начали контролировать изменения ЭТП и попытались дать учебные прогнозы внутри института.

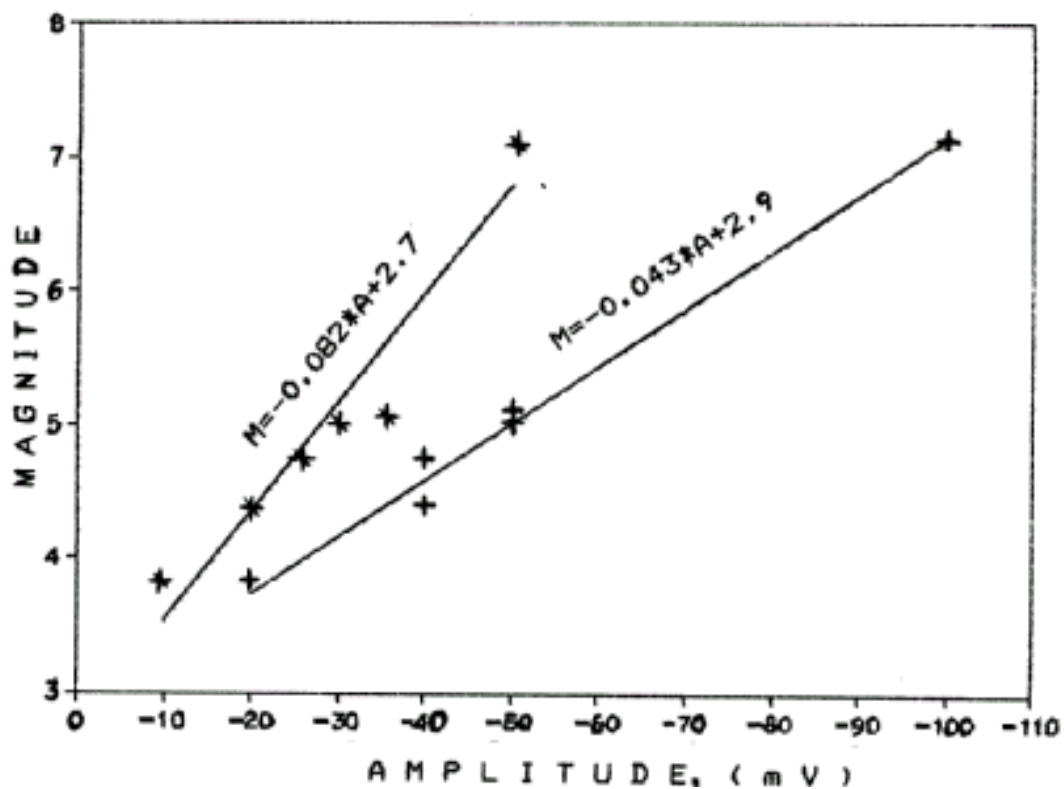


Рис. 5.2.12. Зависимость междумagnitudeй (M) и амплитудой (A) прогнозного сигнала.

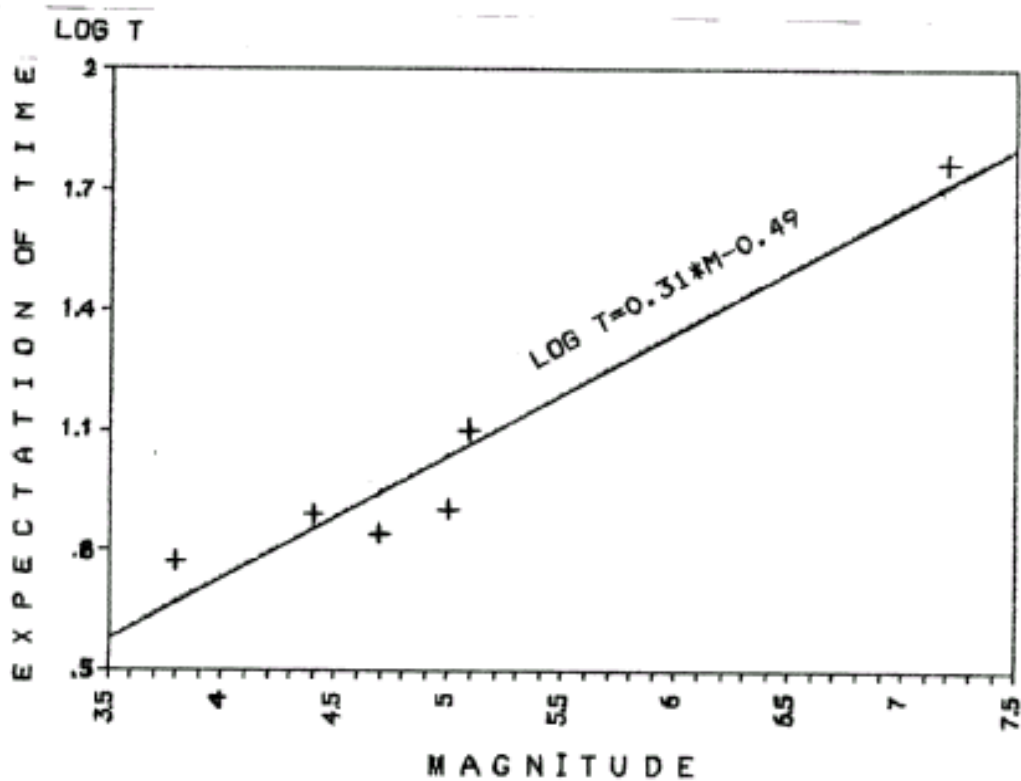


Рис. 5.2.13. Взаимосвязь времени ожидания землетрясения (T) и magnitudeй (M).

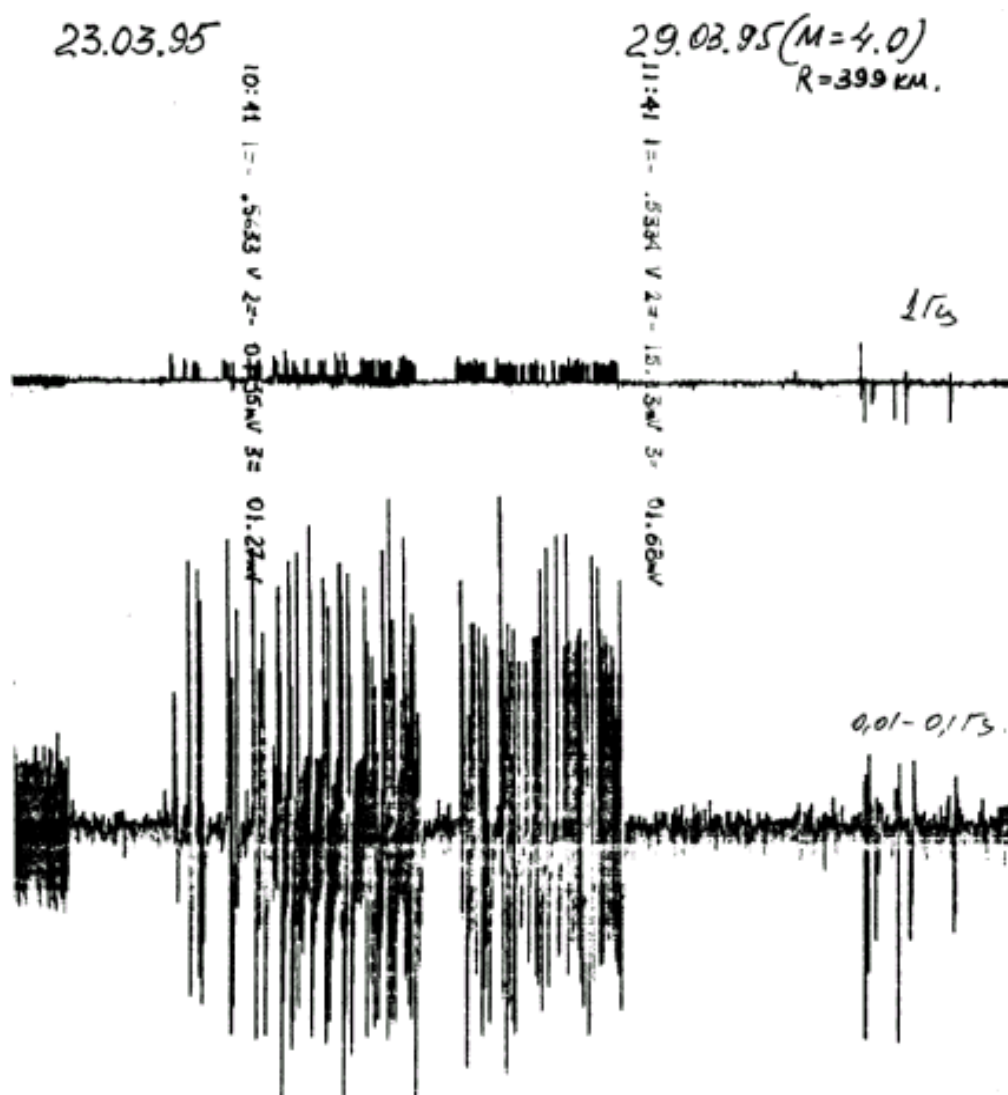


Рис. 5.2.14. Изменение ЭТП перед землетрясением 29.03.95 г. с $M=4,0$

В 1995 году нами были обнаружены 3 раза предвестниковые сигналы (рис 5.2.14, 5.2.15., 5.2.16.) характерные для сейсмического процесса. На основе этих сигналов был написан официальный учебный прогноз на имя зав. отдела прогноза ИС НАН РК Э.Мамырова.

В рапорте было указано, что ожидается землетрясение в следующих датах:

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1. с 27 марта по 31 марта | ($K = 11$, $K = 190 - 290$ км) , |
| 2. с 27 сентября по 28 сентября | ($K = 10$, $K = 350$ км) , |
| 3. со 2 октября по 5 октября | ($K = 14$, $K = 300$ км) , |

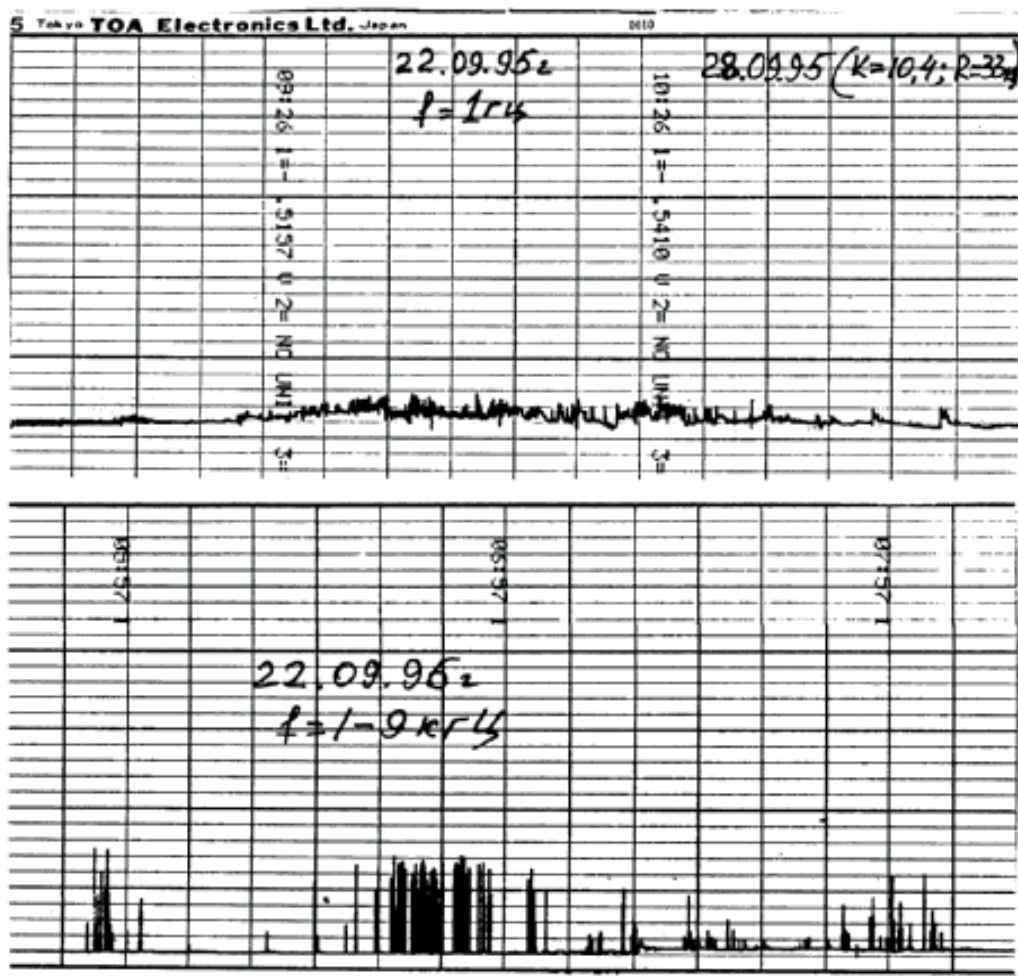


Рис. 5.2.15. Изменение ЭТП перед землетрясением 28.09.95г. с $K=10,4$

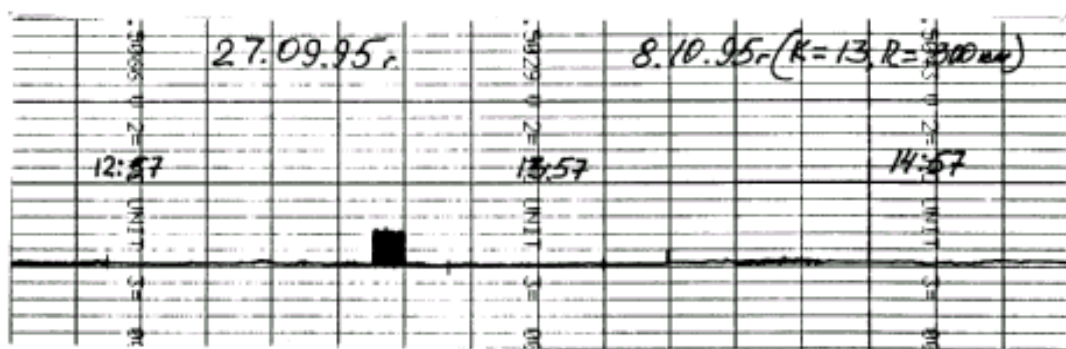


Рис. 5.2.16. Изменение ЭТП перед землетрясением 08.10.95 г. с $K=13$.

В результате во всех случаях прогноз со временем оправдывался. Ошибка была в основном по расстоянию и в последних случаях по дате. То есть действительно произошли землетрясения в следующих датах:

1. 29 марта в 21ч. 52м. с $K = 11.3$ на $R = 390\text{км}$
2. 28 сентября в 10ч. 48м с $K = 10$ на $R = 33\text{км}$
3. 8 октября в 13ч.57м. с $K = 14$ на $R = 300\text{км}$

Ошибки связаны с тем, что по ЭТП регистрация ведется только на

одном пункте. Зона захвата прибора измерений ЭТП по радиусу составляет грубо до 350 км. Исходя из этого мы указывали данное расстояние. Для точного определения всех параметров, необходимо организовать еще в двух пунктах, например в г.Караколе и в г.Оше регистрации ЭТП на скважине с использованием аппаратуры Японского производства. Это дало бы возможность более точного определения направления прихода предвестниковых сигналов и расстояния до источника.

Выводы к гл.V

1. С целью изучения вариаций электротеллурического поля, его изменений во времени и в связи с сейсмичностью созданы пункты наблюдений на территории Бишкекского геодинамического полигона Кыргызстана.

2. В результате проведенных опытно-методических работ, режимных наблюдений за вариациями горизонтальной составляющей электротеллурического поля, начатых в 1988 году, опробованны в полевых условиях и при длительной эксплуатации различные варианты приемных электродов.

3. Оценена изменчивость естественных ЭТП во временах для выяснения фона района работ. Определено влияние сезонных изменений и различного рода помех. Изучен характер вариаций горизонтальной составляющей электротеллурического поля, обусловленный изменением режима влажности среды.

4. Опробованы алгоритмы и программы оперативной обработки данных регистрации горизонтальной составляющей электротеллурического поля, с целью выделения аномальных вариаций, предшествующих землетрясениям, позволяющие сделать следующие выводы:

а) большинство сейсмических событий с $K \geq 9$ предварялись или сопровождалось аномальными вариациями поля горизонтальной составляющей ЭТП, при условии, что станция регистрации располагалась в пределах зоны подготовки землетрясения (слабые землетрясения).

б) аномалии имеют характерную длительность в несколько суток и достигают 25 мВ при длине линий 200 м. Отмечены бухтообразные искажения поля длительностью до 1.5 месяцев.

5. Рассмотрена ретроспективная модель для прогноза близких землетрясений, использующая значения горизонтальной составляющей ЭТП, равное или большее 3σ . Показало, что модель работает за трое суток до события (см. табл.5.1.1.).

6. Разработан и опробован в полевых условиях новый тип датчиков, а также технология его изготовления, и их установки для регистрации вертикальной составляющей электротеллурического поля на скважине.

7. Осуществлены круглосуточные многолетние (1991 - 1999гг.) наблюдения вертикальной составляющей ЭТП_{вер} на скважине № 1240, в трехчастотных диапазонах.

8. Анализ вариаций фоновых значений ЭТП по результатам наблюдений в течении 1991-1997 гг. позволил установить на выбранных частотах регистрацию среднемесячных вариаций суточного хода и сезонные вариации уровня ЭТП. Наименьшие значения ЭТП_{вер} наблюдаются в зимний период (декабрь - февраль), а наибольшие - в летний период (июль - август). Абсолютная величина максимумов и минимумов для одних и тех же сезонов, а также их положение незначительно меняется от года к году.

9. Проведена оценка влияния на ЭТП_{вер} нерегулярных помех, которые своим воздействием могли вызвать аномалии несейсмического происхождения. Были детально изучены записи ЭТП_{вер} в период проявления близких гроз, геомагнитных возмущений, изменений метеорологических параметров (дождь, снегопад, туман, давление, температура, скорость ветра) и промышленных помех. В качестве критериев оценки их воздействия на ЭТП_{вер} анализировались следующие характеристики: характер возмущений, их продолжительность и признаки отличия.

10. Из анализа данных ЭТП_{вер} перед землетрясениями сделаны следующие выводы:

а) аномалии выделяются не на всех диапазонах частот, а в большинстве случаев они обнаруживаются в диапазоне 0.01 - 0.1 Гц и 1 Гц, редко - 1 - 9 кГц.

б) характеристики аномалий отличались в различных диапазонах частот:

- в диапазоне 0.01 - 1 Гц возмущения имеют форму записи сейсмических волн, т.е. более высокочастотные возмущения на фоне спокойного уровня поля.

- в диапазоне 1 Гц сигналы сейсмического происхождения отличались на записи ЭТП_{вер} резкими "П- образными" всплесками уровня. По амплитуде "П - образные" всплески в несколько раз превышает уровень фоновых значений . Такая форма сигнала наблюдалась в периоды времени, приуроченные к землетрясениям, что позволило принять ее за образ сигнала - предвестника. Длительность "П- образных" всплесков составляет 10 - 60 минут. Проявление за 6 - 8 суток до главного толчка в диапазоне 1 - 9 кГц возмущения наблюдались в виде всплеска уровня поля, модулированного высокочастотными составляющими большой интенсивности.

11. Анализ сопоставления сигналов сейсмического происхождения ЭТП_{вер} с данными гидродинамики и деформометрии указывают на их

связь с изменениями $\text{ЭТП}_{\text{вер}}$.

12. По результатам анализа возмущений $\text{ЭТП}_{\text{вер}}$ сейсмического происхождения выделен образ сигнала - предвестника, который можно использовать в перспективе как достоверный признак готовящегося землетрясения. Получены корреляционные соотношения зависимости между магнитудой землетрясения M и амплитудой, и между временем ожидания T и магнитудой. Представлены графики регрессивной зависимости этих связей.

13. Разработана методика использования $\text{ЭТП}_{\text{вер}}$ данных, в комплексе с другими предвестниками, для прогноза времени землетрясений. В результате использования методики в 1995 - 97 гг. даны научные прогнозы внутри ин-та сейсмологии НАН КР. Были даны 6 официальных прогнозов. В результате во всех случаях прогноз времени оправдывался. Ошибка была в основном по расстоянию и в двух случаях по дате. Ошибка связана с тем, что по $\text{ЭТП}_{\text{вер}}$ регистрация ведется только в одном пункте. Зона захвата прибора измерений $\text{ЭТП}_{\text{вер}}$ по радиусу составляет по-видимому до 350 км.

Акт о внедрении результатов для официальных прогнозов МЧС и ГО в прогнозе стихийных бедствий на территории Кыргызской Республики прилагается.

Глава. VI. АНОМАЛИИ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНАХ КЫРГЫЗСТАНА

6.1. Аномалии атмосферно-электрического потенциала

Сведения об электрических характеристиках атмосферы необходимы для построения общей картины электромагнитного поля Земли [297], исследования генераторов атмосферного электричества [82,84,298], поиска предвестников землетрясений [207,299]. Атмосферное электричество предполагается одним из факторов солнечно-биологического воздействия [300].

Те отрывочные факты гл. I §1.2.3, что накоплены до настоящего времени, по измерению АЭП в сейсмоактивных районах не составляют необходимой статистики для научно обоснованных выводов. Данные изобилуют противоречивыми сведениями. С одной стороны, должны существовать пробойные напряженности полей у поверхности в период, непосредственно предшествующий землетрясению: пробой кабеля, свечение воздуха. С другой стороны, отсутствуют данные прямых измерений, подтверждающие это даже при малых эпицентральных расстояниях. Тем не менее вопрос о существовании вариаций АЭП перед землетрясениями принципиален, и прежде всего потому, что электрическое поле обоснованно рассматривается как один из наиболее вероятных физических факторов литосферно-ионосферных связей.

Данные о наличии возмущений в ионосфере [138,145,149,161] позволяют предполагать квазистатическое электрическое поле и его вариации у поверхности Земли в качестве физического фактора взаимосвязи процессов в земной коре и ионосфере. Необъясненные, но достоверно установленные явления типа свечения воздуха в эпицентральных районах многими исследователями связываются с появлением квазистатических электрических полей больших напряженностей в атмосфере. Отметим, что подобное объяснение не является единственным. Согласно описаниям появление в той или иной форме диффузного свечения, которое может принимать причудливые формы (в том числе и над высокопроводящей водной поверхностью) можно связать с явлением хемилюминисценции газов, выходящих через поверхность земли в атмосферу и вступающих в реакцию с различными компонентами воздуха. Но и в этом случае необходимо учитывать напряженность электрического поля атмосферы и изменение ее проводимости.

Все это и определяет большой интерес к изменению электрических параметров атмосферы в период, непосредственно предшествующий

землетрясению.

Среди ряда параметров, характеризующих электрическое состояние атмосферы вблизи поверхности Земли, выделяются три основных: напряженность электрического поля (E), вертикальный ток атмосфера - Земля (I) и суммарная проводимость воздуха (σ). Для выяснения причин существующих возмущений иметь записи трех компонент. В практике полевых исследований редко удается в силу громоздкости аппаратуры проводить синхронную регистрацию E , I , σ и чаще всего проводятся измерения E .

Уравнение для плотности вертикального тока атмосфера - Земля представимо в виде:

$$j = sE + e \frac{\partial E}{\partial t} - (K + D) \frac{\partial n_{\pm}}{\partial z} + n_{\pm} V_z + j_{oc}, \quad (6 - 1)$$

где E - напряженность электрического поля;

σ - суммарная проводимость воздуха;

ε - диэлектрическая проницаемость воздуха;

K и D - коэффициенты турбулентной и молекулярной диффузии;

$n_{\pm}$ - концентрация носителей заряда (аэроионов);

V_z - вертикальная компонента скорости ветра;

j_{oc} - плотность токов осадков.

В общем случае разделение компонент тока представляет непростую задачу. Во время сильных осадков изменение E и j могут испытывать столь сильные возмущения обоих знаков (вплоть до пробойных значений при грозе для E), что выделять эффекты сейсмической природы в таких осложненных метеоусловиях вряд ли представляется возможным.

Трудности с измерениями плотности вертикального тока в атмосфере в качестве индикатора объясняют тот факт, что существуют крайне немногочисленные эксперименты по выявлению связей j с сейсмической активностью, в отличие от наблюдений за напряженностью электрического поля [107].

Наряду с регулярными плавными возмущениями АЭП, такими, как унитарная, суточная, сезонная вариации, которые составляют десятки процентов от среднего уровня в 130В/м, существует большое многообразие иррегулярных возмущений в широком диапазоне характерного времени их изменений, амплитуды которых достигают десятков, сотен и тысяч вольт на метр. Источниками подобных возмущений являются: грозовая активность, туман, сильный ветер, пылевые и снежные бури, различного рода осадки, загрязнения атмосферы [83,88].

При существовании подобного рода шумового трудно с уверенностью выделить полезный сигнал. В то же время подтверждением аномалий, приуроченных к моменту землетрясений и выходящих за рамки известных порядков величин, может служить и определенная статистика аномалий,

полученная в различных сейсмоактивных регионах при относительно спокойных условиях. Тем самым, несмотря на очевидные трудности в данных исследованиях, проведение их представляется не только целесообразным, но и необходимым. Достоверные свидетельства существования аномальных возмущений в параметрах атмосферного электричества в сейсмоактивных областях важны, прежде всего для понимания физических процессов, имеющих место в зоне подготовки землетрясения, и целей их прогнозирования. В последнее время внимание к таким исследованиям повысилось в связи с полученными в работах [301, 302] данными об аномалиях напряженности электрического поля атмосферы сейсмоактивных областях Кыргызстана и Таджикистана. Наблюдения проводились с помощью струнного вибрационного измерителя АЭП, регистрация осуществлялась самописцем КСП - 4 с привязкой к точному времени. Одновременно фиксировалась метеобстановка для исключения возмущения АЭП, вызванных метеофакторами. Полученные данные обрабатывались на ЭВМ: рассчитывались среднечасовые "фоновые" значения, усредненные за период около 10 дней до и после сейсмического события, а также отклонения хода АЭП в день события от "фона".

На рис. 6.1.1 приведены результаты измерения АЭП в г. Бишкек во время афтершока 18.03.89 г. $M=4.0$, $R=60$ км. Основной толчок произошел 5.03.89 г. с $M=4.5$. Датчик АЭП располагался на крыше 4-х этажного здания: синхронно на ленте самописца КСП - 4 регистрировалась относительная влажность воздуха, отмечалась метеобстановка. Аномальное поведение АЭП началось примерно за 6 - 7 часов до толчка: наблюдалось уменьшение величины напряженности с изменением знака поля. Фаза отрицательного знака продолжалась около 2 часов, после чего восстановилось нормальное значение АЭП. За 3 часа до толчка АЭП вновь начало уменьшаться, изменило знак, и в области отрицательных значений вышла за пределы динамического диапазона прибора (около 750 В/м). За 15 минут до толчка АЭП вновь начала быстро изменяться и в момент толчка (с точностью до первых минут) восстановилось нормальное значение.

По свидетельству многочисленных очевидцев, в районе эпицентра за 1 -1,5 часа до толчка наблюдалось свечение возвышающихся предметов: вершин деревьев, крыш зданий и т. д. Свечение прекратилось непосредственно перед толчком. Эти свидетельства косвенно подтверждают связь зарегистрированных аномально высоких отрицательных значений АЭП с сейсмической деятельностью. Погодные условия не соответствовали критерию "хорошей погоды", однако наблюдавшаяся метеобстановка (слоистая облачность среднего яруса, слабый ветер не более 2 м/с, кратковременные малоинтенсивные осадки, не совпадающие по времени с аномалиями) с малой вероятностью могли

стать причиной указанной аномалии. В то же время явление носило, по - видимому, достаточно локальный характер: датчик АЭП, расположенный в 210 км от эпицентра, на берегу оз. Иссык - Куль, не зарегистрировал отрицательных аномалий, напротив, в 20 часов 30 минут наблюдалось увеличение значений АЭП примерно в 2 раза по сравнению с нормальными. Фаза увеличенных значений продолжалась примерно 15 минут.

26.05.87 г. в районе оз. Иссык -Куль произошло землетрясение ($M=4.7$), во время которого АЭП регистрировалась в двух пунктах: п. Теплоключенка ($R=60$ км) и Баетовка ($R=100$ км) . Вариации АЭП, зарегистрированные в этих пунктах и значения σ , приведены на рис. 6.1.2. В первом пункте за 6 - 7 часов до толчка ... отмечалось уменьшение значений АЭП с последующим двухкратным переходом через нулевое значение и восстановлением полярности. Следует также отметить общее уменьшение величины АЭП в указанный день по сравнению с "фоновыми" значениями, усредненными за несколько дней до и после события, и приведенными на рисунке штриховой линией. Непосредственно в момент толчка особых аномалий не отмечено. Во втором, более удаленном пункте, в это же время наблюдается некоторое уменьшение АЭП (на 25-30%), хотя и не выходящее за рамки доверительного интервала "фоновых" значений, однако не наблюдавшееся ни до, ни после дня землетрясения.

Наблюдения за изменениями АЭП проводились нами с 1991 года вблизи Иссык - Атинского разлома. Датчик располагался на высоте 10 метров. Регистрация проводилась с помощью струнного вибрационного измерителя АЭП, регистрация осуществлялась самописцем КСП - 4 с привязкой к точному времени.

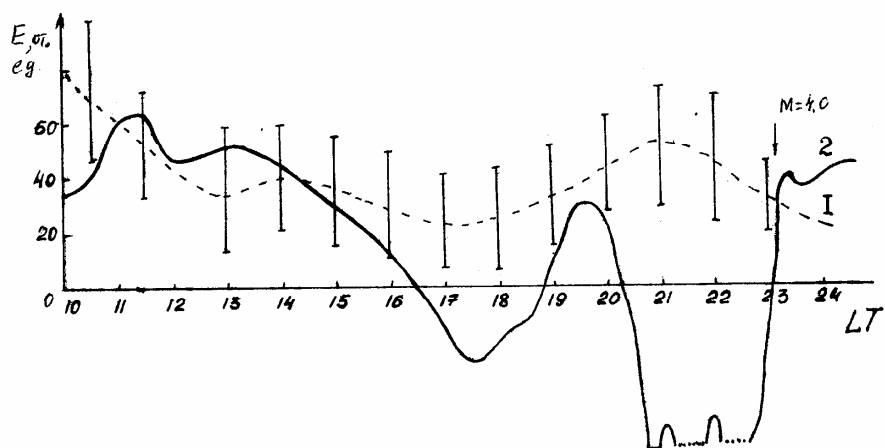


Рис. 6.1.1. Вариации напряженности электрического поля атмосферы в Бишкеке ($R = 60$ км, $M = 4$)

1 - среднесуточная вариации АЭП ясной погоды;

2 - вариация АЭП в день землетрясения.

Стрелкой отмечен момент землетрясения (по 301).

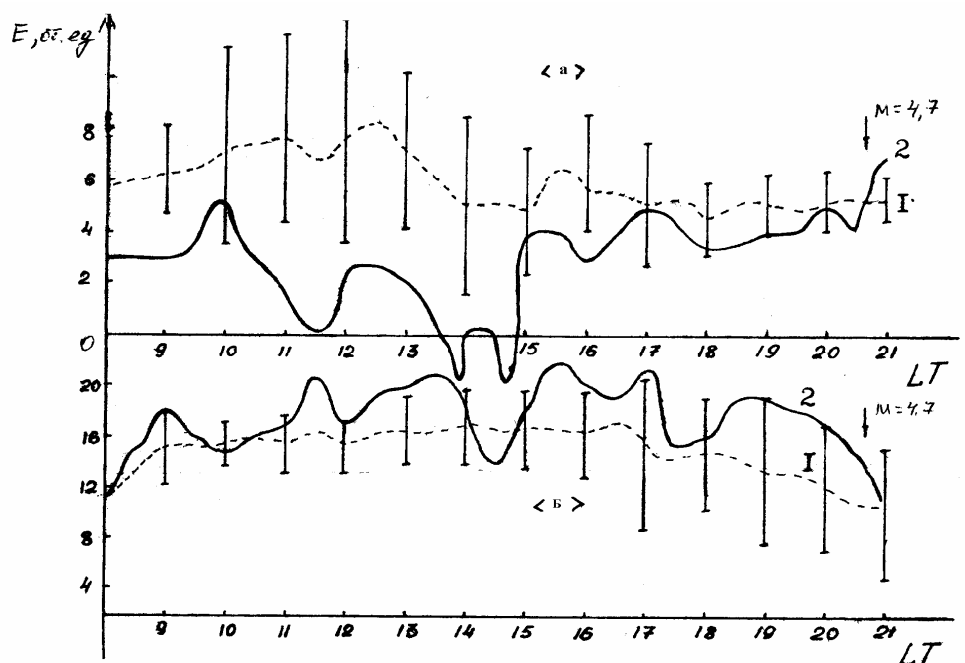


Рис.6.1.2 а,б. Вариации напряженности электрического поля атмосферы.

а) п. Теплоключенка ($R = 60$ км);

б) с. Баатовка, ($R=100$ км), 1 и 2 также, как в рис.6.1.1. (по 301).

Рис. 6. Суточный ход градиента потенциала в зоне Ыссык - Атинского разлома в июне.

В суточном ходе АЭП наблюдается более глубокий и продолжительный дневной минимум и вечерний максимум 19 - 23 ч LT. Наиболее устойчивой особенностью суточных вариаций E является утренний минимум (01 - 04 ч LT) и вечерний максимум (19 - 23 ч LT). От месяца к месяцу изменяются лишь относительные величины этих минимумов и максимумов.

В данном параграфе мы остановились, в основном на двух сильных землетрясениях, которые произошли за последние семь лет (1990 - 1997 гг.), а именно Суусамырское (19.08.92 $M=7.3, R=120$ км) и Кочкор - Атинское (15.05.92, $M=6.2, R=280$ км) землетрясения. Эпицентры этих двух землетрясений расположены с пунктом регистрации АЭП в одной азимутальной линии (рис.6.1.3).

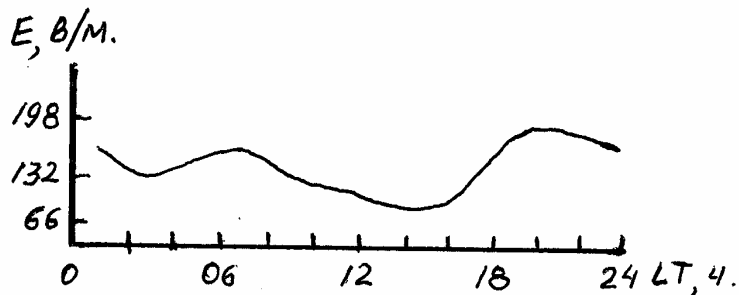


Рис. 6.1.3.а. суточный ход градиента потенциала в зоне Ыссык-Атинского разлома в июне

На рис. 6.1.4 приведены результаты измерения АЭП до и после Суусамырского землетрясения. Землетрясение произошло 19 августа 1992 года в 8 часов 04 мин. местного времени. Координаты эпицентра: $\varphi=42^{\circ}04'$; $\lambda=73^{\circ}38'$; $M=7.3$ ($K=17$). Сила толчка в очаге составила $J_0=8 - 9.8$ баллов. Глубина очага в пределах $h=17 - 25$ км. Афтершоков с энергетическим классом $K = 11.5 - 11.8$ произошедших за первые трое суток после главного толчка, было 15. Всего количества афтершоков с $K \leq 11$ повторявшихся до конца 1992 года, доступного 486. Эпицентр землетрясения находился на Суусамырском хребте в верхней части долины рек Арамсуу. Расстояния от пункта регистрации АЭП составило 120 км. Подземный катаклизм в эпицентральной части проявился на поверхности трещиноватой зоной, где ширина единичных зон достигла 50 - 60 м, длина - до 1 км, амплитуда разрыва - 2.7 м. Перед главным толчком очевидно заметили в эпицентральной области зарево и почувствовали выделение газов, напоминающий по запаху природный горючий газ.

Перед Суусамырским землетрясением произошло сильное сжатие грунта, охватывающие обширные территории по краям эпицентральной зоны. Подтверждением этого служат тот случай, когда на пастбище «Керумду» фонтанировала грунтовая вода перед самым подземным толчком. Этот факт получил подтверждение в Окторской геологоразведочной партии. По сообщению ведущего геолога партии Кундргодского С. Д. , геологическая скважина пробуренная до глубины 670 метров, имела отметку нормального уровня воды 190м от устья скважины.

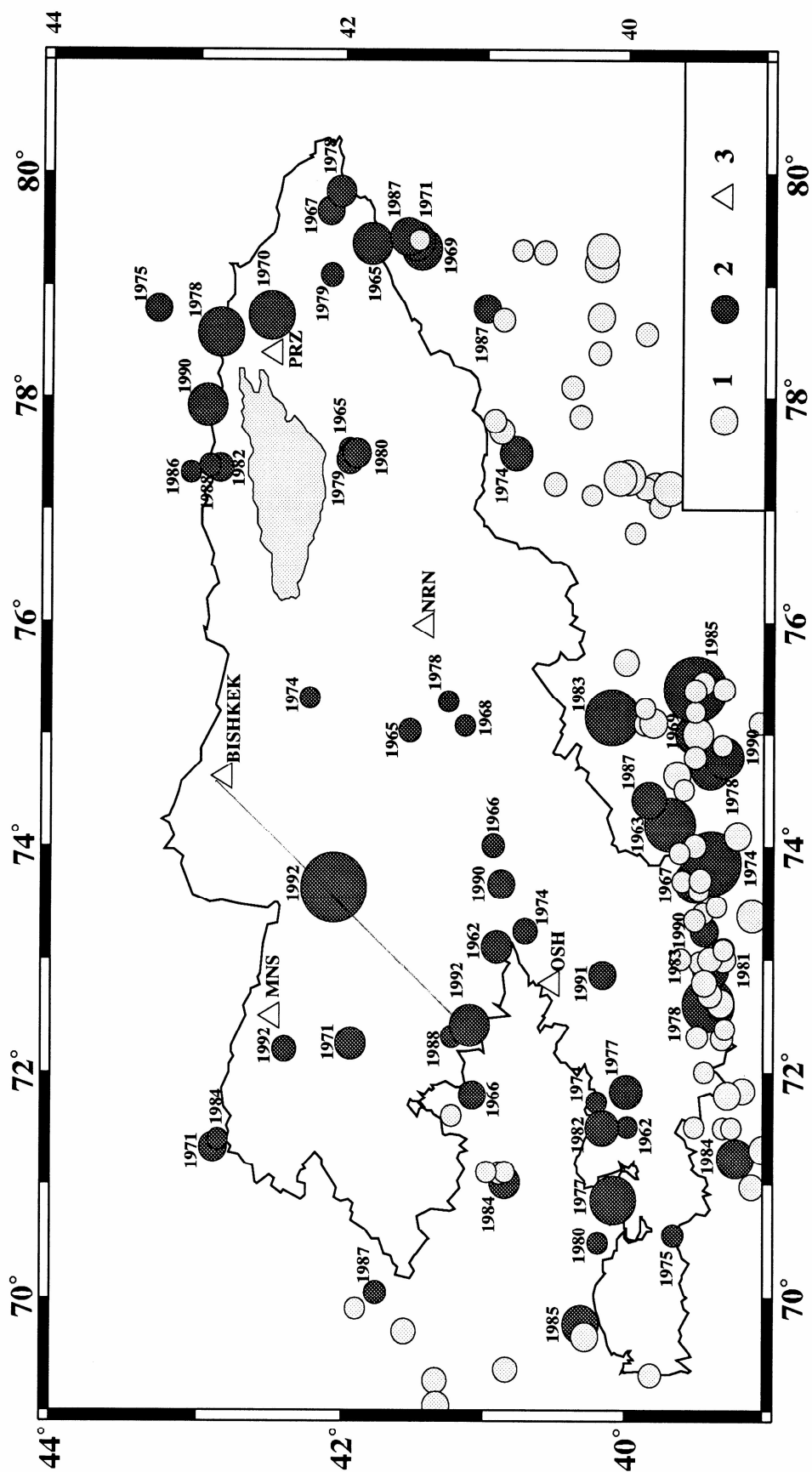


Рис. 6.1.3 Распределение эпицентров землетрясений ($K \geq 13$) за период 1962 - 1992 гг.

- 1. - Эпицентры всех землетрясений;
- 2. - Эпицентры "избранных" землетрясений для детального изучения;
- 3. - Сейсмическая станция.

За 5 суток до главного толчка, т.е. 14 августа наблюдали понижения подземного уровня воды на 9 метров. 16 августа обнаружено, что уровень воды поднялся до 92,88 метров. Вода стала сильно грязной. К 25 августа все показатели пришли в норму и уровень воды поднялся до первоначальных значений.

Аномальное поведение АЭП началось за 43 часов до толчка. Сначала наблюдался первый максимум АЭП 17 августа с 9 до 20 часов с длительностью 11 часов, затем восстановилось нормальное значение. 18 августа с 9 ч до 12 ч наблюдается второй максимум с длительностью 3 часа. Затем наблюдалось резкое уменьшение величины напряженности АЭП до 50 В/м и этот уровень держится в течение 14 часов. За час до толчка АЭП вновь начала быстро изменяться и в момент толчка восстановилась ее нормальное значение. После главного толчка вновь увеличивается доходя до 280 В/м и через 3 часа возвращается почти к прежнему уровню, это сопровождается афтершоком $K=15$, после которого резко снижается до уровня 45 В/м.

Интересно отметить изменения АЭП поля перед вторым афтершоком Суусамырского землетрясения от 23 августа 1992 г. ($K=11,8$, $R=120$ км). За 16 - 19 часов до толчка отмечалось уменьшение значений АЭП с последующим двух кратным переходом через нулевое значение и восстановлением полярности, т.е. форма изменений АЭП повторяется, подобно полученным данным перед землетрясениями 18.03.89 и 26.05.87 г. (рис. 6.1.5.).

Метеобстановка в окрестности момента главного толчка и в период афтершока соответствовали «хорошей погоде».

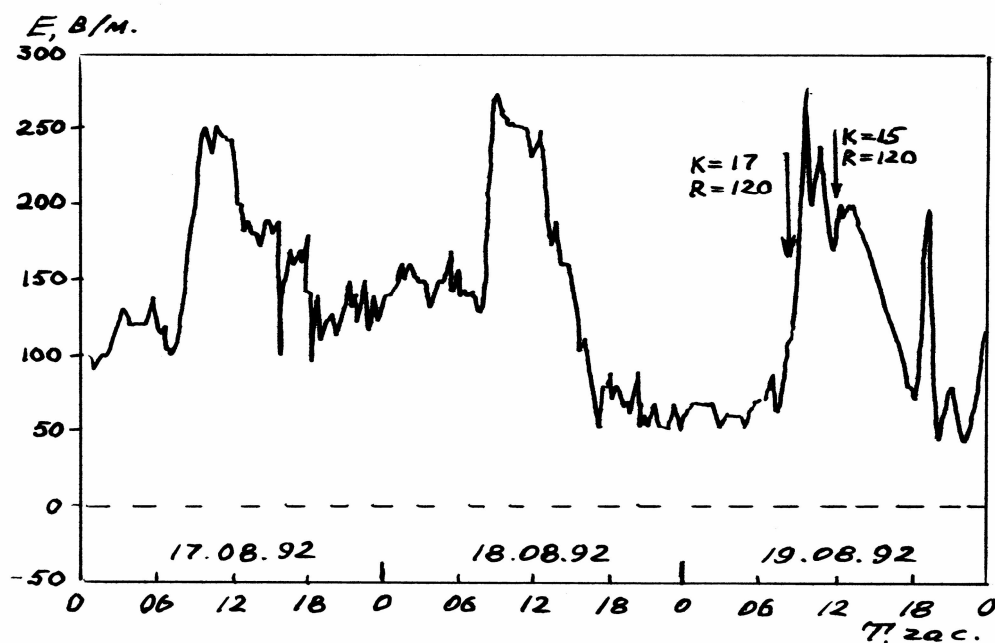


Рис. 6.1.4. Изменение АЭП перед Суусамырским землетрясением.

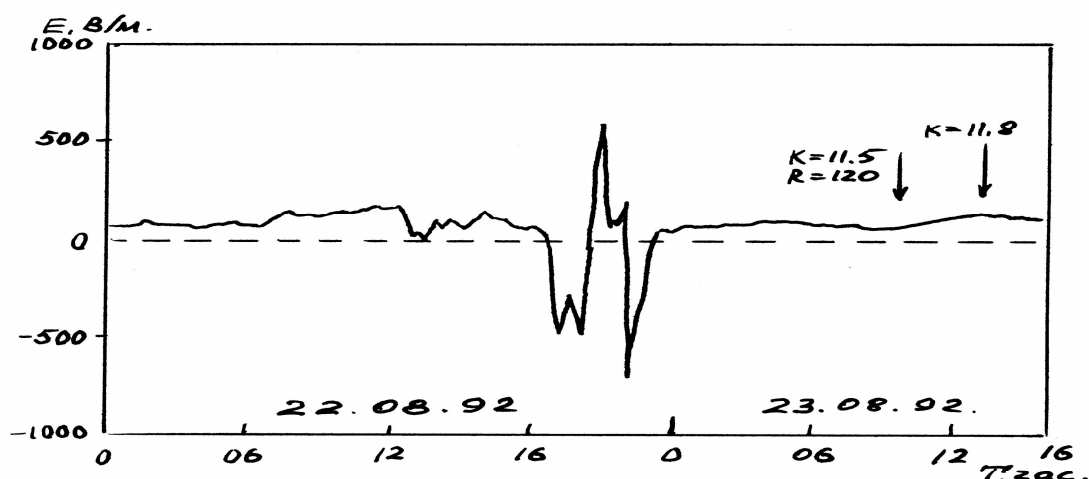


Рис. 6.1.5. Изменение АЭП перед афтершоком Суусамырского землетрясения

На рис. 6.1.6 представлены вариации АЭП на ст. Чолпон - Ата по данным КГНУ. Стрелкой показан момент Суусамырского землетрясения. Измерения проводились в безветренную ясную погоду, исключающей резкие возмущения в широком диапазоне характерного времени изменений АЭП в ее суточном ходе. Пункт регистрации находится на расстоянии 300 км от эпицентра Суусамырского землетрясения. Аномалию поведения АЭП с изменением ее знака на противоположный. Фаза отрицательного значения поля продолжалась около 2-х часов, после произошло восстановление знака и значений АЭП близким к фонам. То есть, синхронное наблюдение АЭП на двух пунктах перед сильнейшим землетрясением показывают различную морфологию возмущений и отличный характер развития процесса.

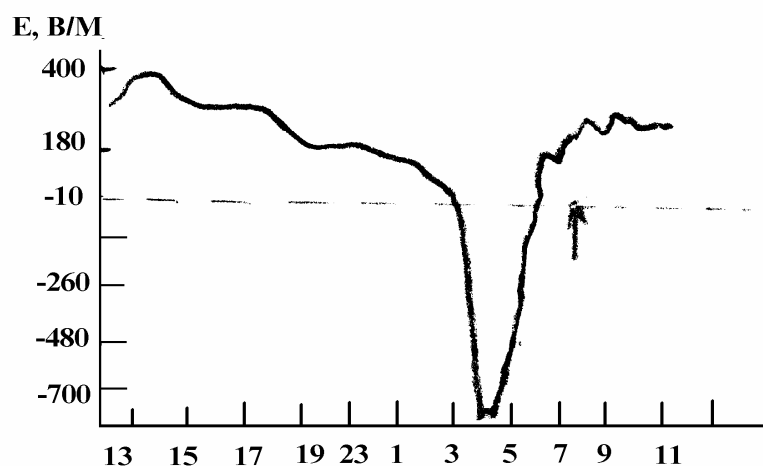


Рис. 6.1.6. Вариация напряженности АЭП 18 и 19 августа на ст. Чолпон-Ата по данным КГНУ

Кочкор - Атинское землетрясение произошло 15 мая 1882 г. в 14 ч 07 мин. местного времени. Координаты эпицентра: $\varphi=41^{\circ}05'$; $\lambda=72^{\circ}25'$, $M=6,2$ ($K=5$).

Глубина очага $h=3-5$ км. Количество афтершоков по сейсмологическим данным дошло до 362.

На рис. 6.1.7 и 6.1.8 приведены результаты измерения АЭП до и после Кочкор - Атинского землетрясения. За 27 часов до толчка наблюдалось сильное возмущение АЭП. Возмущенный период длился 8 часов, затем в течение 14 часов подобно перед Суусамырским землетрясением уровень изменений АЭП варьируется в пределах 50 В/м и за 5 часов наблюдается снова повышения уровня АЭП до 210 В/м. Фаза увеличенных значений продолжалось примерно 3 часа и в момент толчка восстановилось ее нормальное значение. Здесь надо отметить, что 14 мая еще наблюдалась слоистая облачность среднего яруса, кратковременные среднеинтенсивные осадки. Возможно начальный этап первого максимума с короткопериодным возмущением АЭП видимо связано с метеусловиями местности.

Перед афтершоком 16 мая ($K=11,4$) и 19 мая ($K=11,8$) наблюдалось за 6 и 7 часов до толчка соответственно, отмечалось уменьшение значений АЭП с последующими одно и двух кратным переходом через нулевое значение и восстановлением полярности. Следует также отметить, что уровень отклонений АЭП перед афтершоками, более удаленном эпицентра землетрясения значительно превышает (500 - 1000 В/м), чем перед первым Суусамырским землетрясением.

Из полученных данных следует, что наблюдается некоторая закономерность аномального хода АЭП перед афтершоками землетрясений в отличии от главного толчков. Аномалии замечаются в отклонениях от фонового значения в сторону уменьшения, как правило за 6 -7 часов до толчка, с переходом через нулевой уровень, с последующим восстановлением знака и величины АЭП. Перед главным толчками землетрясений наблюдается уменьшенный уровень « замирания» АЭП в течение 14 часов. Это, по-видимому, подтверждает возможность использования АЭП в качестве оперативного предвестника землетрясений в комплексе с другими методами, например: ЕИЭМП, ЭТП, гидрогеодинамика, деформацией.

Кроме этого, для повышения точности и достоверности прогноза представляется целесообразным использовать измеритель АЭП в комплексе с измерителями других электрических параметров атмосферы, таких, как электропроводность воздуха и ток проводимости.

Локальность регистрации возмущений АЭП, дополнительные сведения о выделении газов, свечении атмосферы перед Суусамырским и Кочкор - Атинским землетрясением довели основания для излучения возможных аномалий в поведении живых организмов.

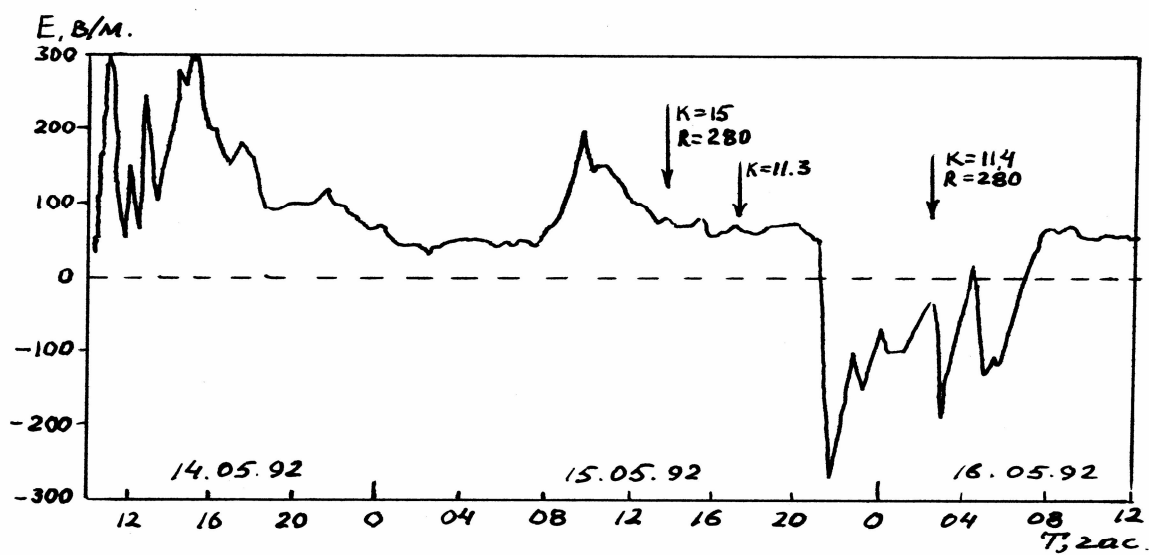


Рис. 6.1.7. Изменение АЭП перед Кочкор-Атинским землетрясением

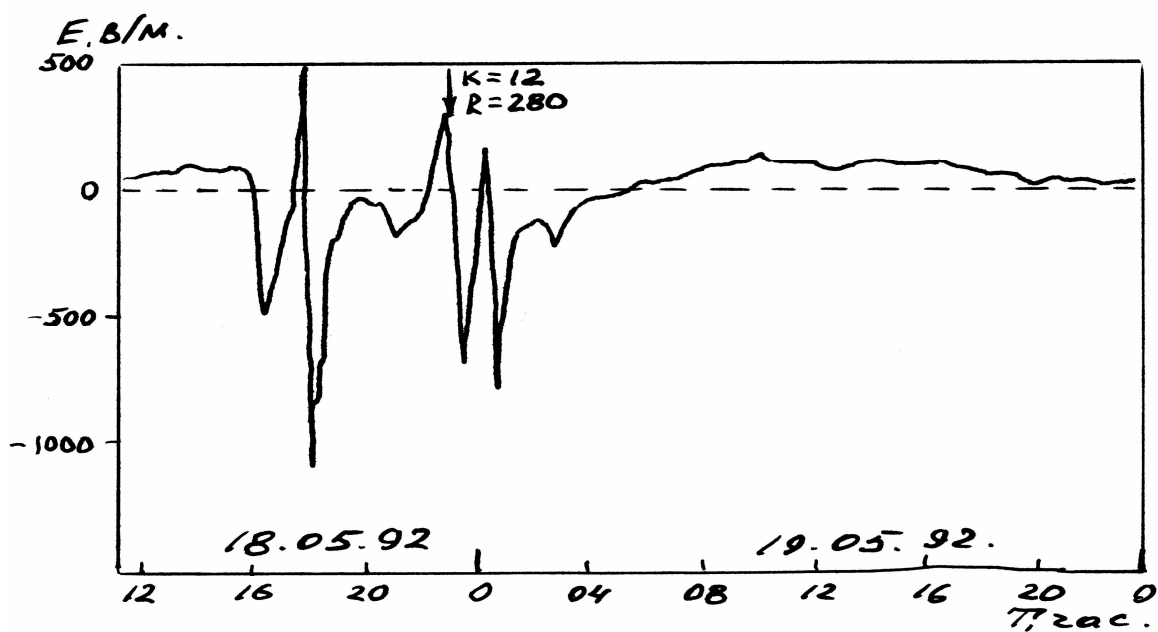


Рис. 6.1.8. Изменение АЭП перед афтершоком Кочкор-Атинским землетрясением

6.2. Наблюдения биореакции живых организмов.

1. Кочкор - Атинское землетрясение произошло 15.05.92 г. в 14 ч 07 мин. $M=6,2$. Обследованию подверглось 9 населенных пунктов в радиусе более 70 км. (см. рис. 6.2.1 и 6.2.2). Из расспросов очевидцев о последствиях подземной катастрофы и из анкетных данных, полученных нами, выяснили следующие факты.

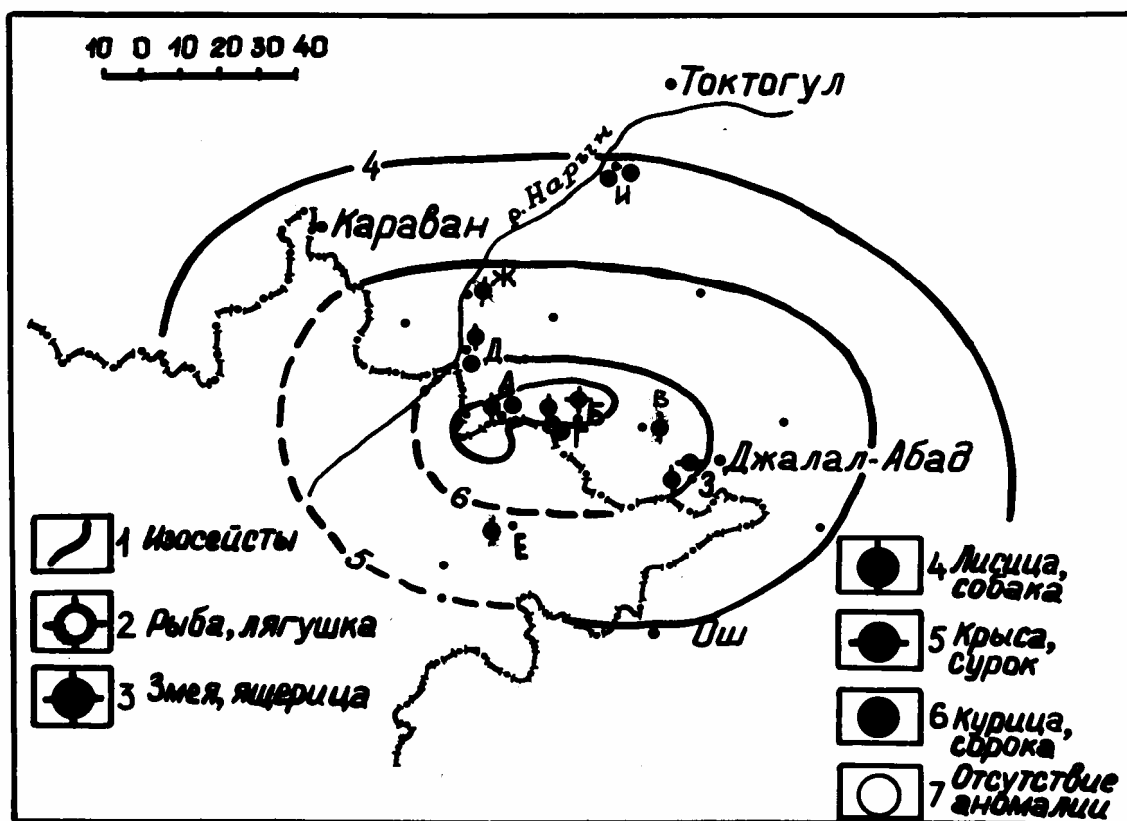


Рис.6.2.1. Кочкор - Атинское землетрясение, произошедшее 15.05.92 г.

Обозначение населенных пунктов:

А - Бургонду;	Б - Каражигач – Сай;	В - Базар - Коргон;
Г - Кочкор - Ата;	Д - Шамалды - Сай;	Е - Андижан;
Ж - Таш - Кумыр;	З - Сузак;	И - Кара- Куль.

В большом аиле "Бургенду" Ноокенского района Омской области (см. пункт А на рис. 6.5.1). Расстояние данного населенного пункта от эпицентра даны в километрах) за 10-12 минут до сильного подземного толчка две собаки жительницы данного села Кулматовой Киргизбу (57 лет) без причины, на первый взгляд, подрались, а затем лаяли. Две коровы, стоящие на привязи, сильно мычали, и порвав веревки, убежали в сторону огорода. Верховая лошадь ее мужа в момент подземного толчка перестала

ходить, и дрожа всем телом, стояла на месте, как вкопанная. По свидетельству учителя Бургендинской СШ № 18 Казимжана Адишова (1957 г. рождения) многочисленные голуби, гнездившиеся на крыше этой школы, за 7 мин. до первого толчка все разом покинули это место. А многие педагоги подумали, что на крыше находится человек или кошки. Еще интереснее факты сообщила фельдшерица Бургендинской участковой больницы Кушубекова Алина (1962 г. рождения): перед самым землетрясением (7 или 12 мин.) у многих больных начались головные боли, а некоторые из них жаловались и на боли в области сердца. Эти факты подтвердили и другие врачи, дежурившие в этот день (пункт А, рис. 6.21).

На расстоянии 7 километров от эпицентра подземного толчка в Каражигач - Сае (пункт, отмеченный буквой Б на этом же рисунке), по рассказам егеря Сары - Челекского заповедника Байченко Виктора и Маматоракунова Нуркемеля, ползающие твари, такие как ящерицы, змеи, различные черви не стали видны за двое и более суток до начала природной стихии. Многие работники заповедника задавали вопросы: "А что случилось с ползающими тварями? Их не замечаем, не видим, куда-то исчезли ... " Заметно активизировалось повседневное движение муравьев и пауков, населяющих эти места.

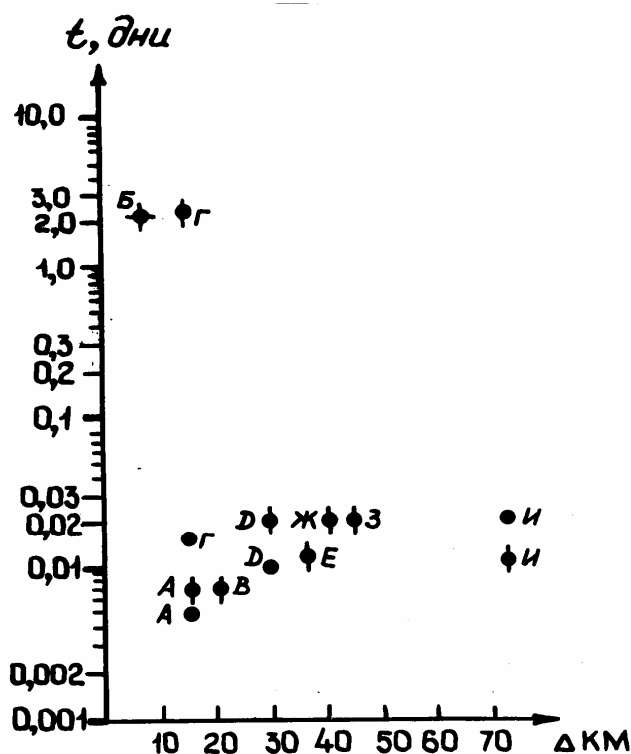


Рис. 6.2.2. График зависимости времени необычного поведения животных от эпицентрального расстояния при Кочкор - Атинском землетрясении.

Обозначения населенных пунктов см. на рис.6.2.1.

В аиле "Биринчи май" Базаркоргонского района по свидетельству

Мамасалиевой Урияты (1949 г. рождения, работница табачного поля), за 10-12 минут до первого подземного толчка две их собаки (обыкновенные, не породистые) спешно покинули дом и спрятались под скирдой стога сена, а корова, недавно отелившаяся, за 7-10 минут до начала подземной стихии плашмя легла на землю, при этом неустанно лизала языком теленка (пункт В).

В самом центре Кочкор - Аты (15 км от инструментально определенного эпицентра, отметили мы пунктом Г) взрослая кошка работницы главной почты Стригиной Тамары (45 лет) исчезла из дома за двое суток до начала сильного подземного гула, а собака (кобель, возраст-12 лет) трусливо жалась к ногам хозяйки в тот момент, когда началась тряска. По ее сообщению, перед землетрясением, примерно за 1-2 минуты, кругом стало тихо, как будто все животные вымерли.

По рассказам Бешковой Веры (42 года, ул. Тимирязева, 52/32), а также Лесниковой Лиды (55 лет, ул. Пионерская, 13/2), подземные толчки были причиной обострения спазмов головы, тошноты, радикулита и др.

В совхозе "Ынтымак" жители Касиева Тамара (1936 г. рождения), Маматжусупов Рысбек (50 лет) и другие сообщили: за 20 минут до сильного подземного толчка куры, индюки сильно беспокоились (шумели, путались под ногами людей), многие собаки начали одновременно выть, веранда дома ходила ходуном. Поведение представителей класса млекопитающих - собак, ослов - бросалось в глаза (см. пункт, отмеченный буквой Д).

По свидетельству жителя соседнего Андижана Анатолия Косина (45 лет), кролики в клетке перестали принимать пищу за 20 минут до толчка, а когда прошло землетрясение, они снова начали интенсивно кормиться (пункт Е).

2. Суусамырское землетрясение произошло 19 августа 1992 года в 8 часов 4 минут местного времени. Перед мощным толчком очевидцы заметили в эпицентральной области зарево и почувствовали выделение гадов, напоминавших по запаху природный газ.

Для выяснения сведений о биологических предвестниках обследованы Суусамырская долина, Кетмен - Тюбинская впадина, перевалы Ала - Боль, Туя-Ашуу, Кок - Арт, города Кара - Балта, Балыкчи, Токмак, Бишкек и около 15 населенных пунктов в радиусе 200 км. (рис. 6.2.3). Кроме этого, еще дополнительные факты аномалии в поведении животных, замеченные именно перед Суусамырским землетрясением, были собраны тектонофизическим и эпицентральной группой нашего Института, и были нами переданы 4 марта 1993 года для включения к отчету по биосейсмологии. При рассмотрении всех этих собранных материалов с точки зрения выяснено следующее.

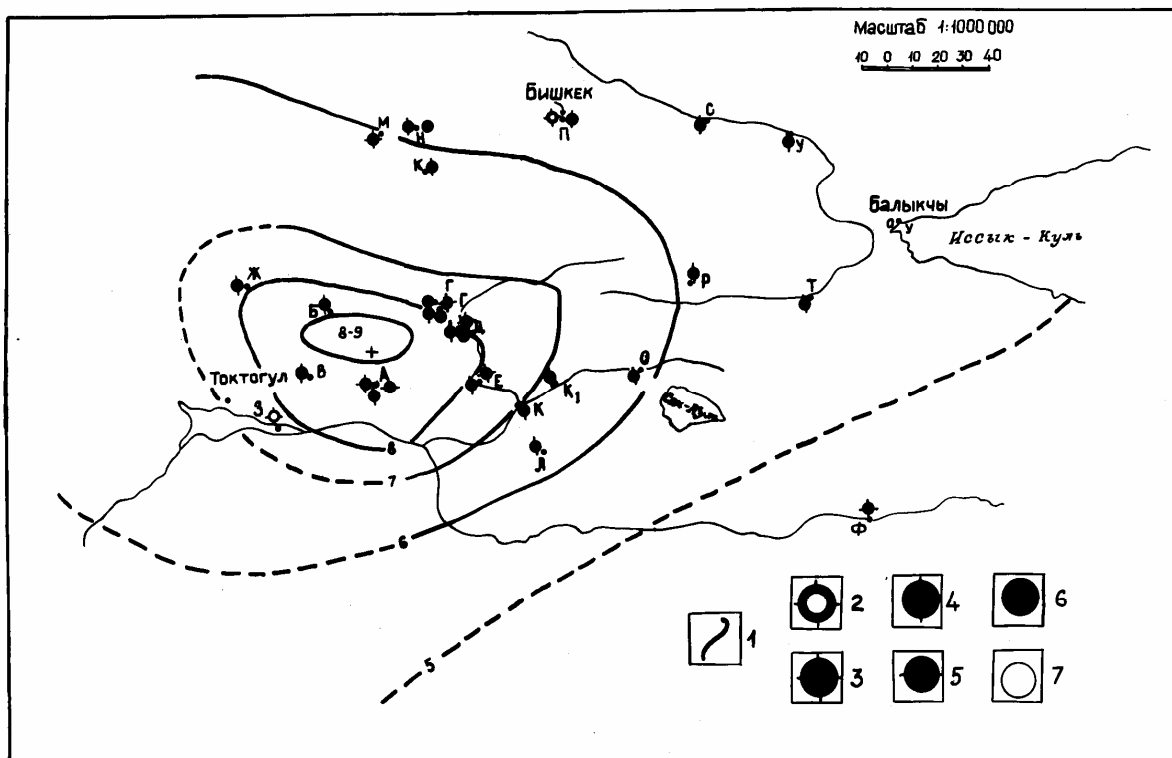


Рис.6.2.3. Суусамырское землетрясение, произошедшее 19.08.92 г.
Обозначение населенных пунктов:

А - Тоолук;	Б - Четки Корумду;	В - Бельалды;	Г - Тунук;
Д - Кожомкул;	Е - Кызыл - Ой;	Ж - Ала- Бель;	З - Токтогульское водохранилище;
И - Арал;	К - Сосновка;	К1 - Чаек;	Л - Мин - Куш;
М - Панфилов;	Н - Кара - Балта;	П - Бишкек и др.	

Обозначения на рис.5.2.1.

В населенном пункте Тоолук (пункт А на рис. 3), находящемся всего в 13 км от инструментально определенного эпицентра землетрясения, по свидетельству многих местных жителей, дождевые черви, змеи, ящерицы и другая живность за 10 дней до первого основного подземного толчка проявили очень заметное беспокойство: их стало очень много на поверхности земли. Многие люди стали часто жаловаться на головные боли, нервные расстройства и т.д. При опросе местных лечащих врачей выяснили, что такое болезненное состояние у многих пациентов начали наблюдать за день, а очень заметно за час и полтора до землетрясения. Домашние птицы, такие, как куры, гуси беспокойство проявили за 20-30 минут до толчка.

Чабаны в окрестностях речки "Четки Корунду" за день до землетрясения (18.08.92 г., 7-8 часов вечера) заметили косуль, спускающихся с горы (пункт Б). Потом было выяснено: они спускались со стороны эпицентра землетрясения, находящегося в 20 км юго-восточнее от вышеупомянутой местности.

Многоопытный пчеловод из местности Бельалды (пункт В) Пелагея Донник свидетельствовала о том, как за 2 дня до события пчелы из ульев не стали далеко летать, наоборот, выкучивались в ульях, возбуждались. Ее собаки и кошки за час и полтора исчезли из временной стоянки.

В аиле Тунук, находящегося от эпицентра землетрясения в 30 км, обыкновенные черные вороны за 10-12 дней до землетрясения в массовом порядке покинули свои гнездовья и прилетели близко к жилищам людей (см. пункт Г на рис. 3). При беседе с нами аксакалы айда говорили: "Когда прилетели вороны и не отлетают обратно к своим гнездовьям и не боятся людей, мы подумали: будет беда. И это случилось через 7-10 дней спустя".

Сотрудники Института биологии местной АН, занимающиеся зоологией беспозвоночных животных Караевский В.Н., Кадыралиев А.К. подтвердили эти случаи, рассказав нам о подобном картине, наблюдавшейся ими при Сары-Камышском и Жаланаш - Тюпском землетрясении.

По свидетельству врача - терапевта Суусамырской районной больницы Борукиева Болота, все виды болезней (ревматизм, бруцеллез, гипертония, ишемия сердца и др.) за день и два до подземного толчка обострились у многих сельчан. Некоторые люди испытывали нервные состояния, а грудные дети чаще плакали.

Чабаны местности "Сандик" и "Ой Каткы" 18 августа вечером увидели множество змей и червей, спешно покидавшие эти места (пункт Г). На жайлоо "Корумду" возле юрты чабана перед самым землетрясением фонтаном била подземная вода.

В аиле Кызыл - Ой за 3 дня до события водители местного учреждения заметили змей, ползущих по дороге. У одной пожилой женщины старая собака (15 лет) за 30-40 минут до первого толчка зашла в дом через открытые двери и, смотря на хозяйку, лаяла, а затем вышла (пункт Е).

Заядлый рыбак Анатолий Донник рассказал: за несколько часов до подземного толчка крупные косяки рыб из Токтогульского водохранилища покинули прибрежные воды и исчезли. За день до землетрясения никто из рыбаков не смог наловить рыбы - не было клева (пункт, отмеченный буквой З).

Согласно материалам, собранным от очевидцев тектонофизическим отрядом на местах, обследованных И. Омуралиевым, А. Корженковым и Т. Чарымовым, стало ясно, что на левом склоне долины речки Суусамыр, на

расстоянии одного километра от дорожно-ремонтного пункта (ДРП) по юго-восточному азимуту, накануне сильного подземного толчка многие виды животных вели себя необычно. Так, например, по сообщению рабочего ДРП Кульматова, все собаки окрестности неустанно лаяли, поворачивая голову не в ту сторону, где впоследствии оказался эпицентр землетрясения. Такой дружный лай, вой собак начался за 10-15 минут до первого подземного толчка. У другого рабочего - А. Акишова коровы раньше времени вернулись в стойло, и время от времени мычали. Кошка исчезла из дома, а собаки, наоборот, прижимались к людям, как будто ища защиты. У третьего рабочего, Жумаша Ушинбаева, сильно разболелась голова и усилилась боязнь за жизнь свою и родственников. По его признанию, такое состояние в его самочувствии началось за 30 - 40 минут до землетрясения (см. рис. 3, пункт Ж).

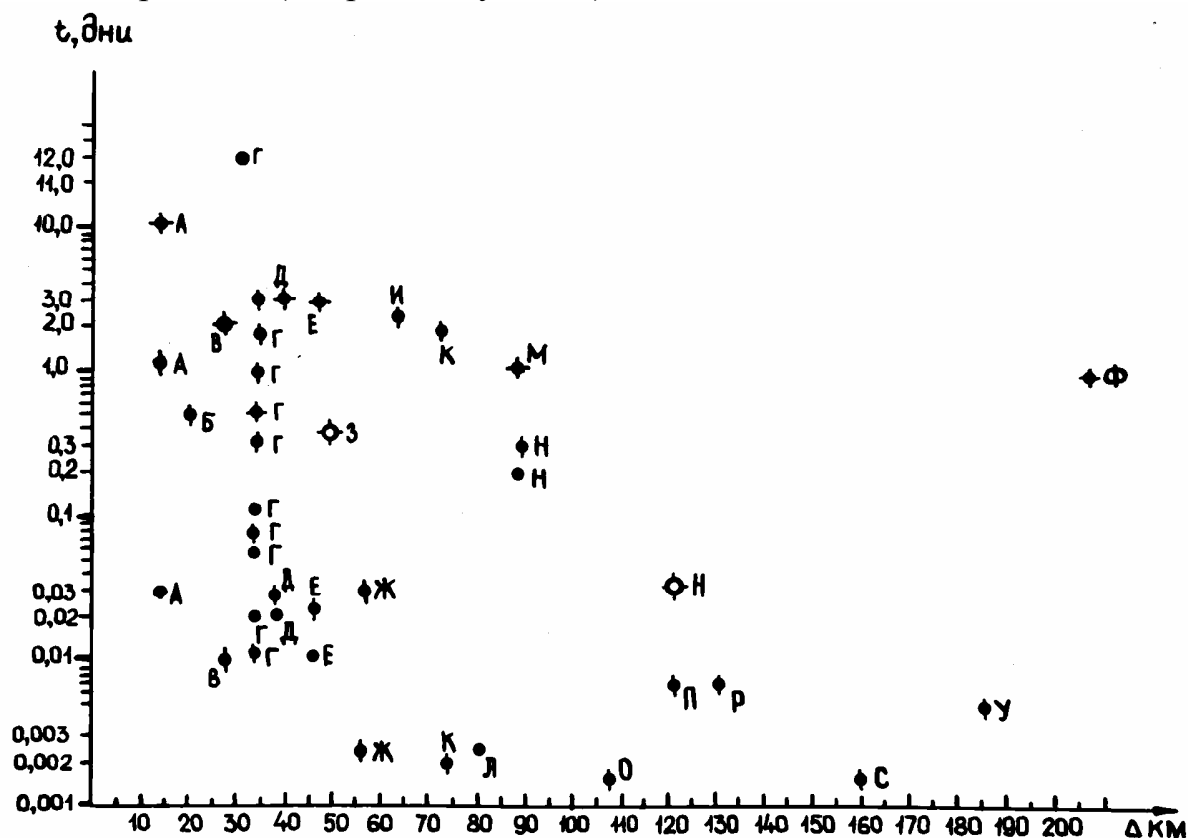


Рис. 6.2.4. График зависимости времени необычного поведения животных от эпицентрального расстояния при Суусамырском землетрясении.

Обозначения населенных пунктов см. на рис.6.2.3.

При анализе графика зависимости времени необычного поведения животных от эпицентрального расстояния при Кочкор-Атинском землетрясении 7,5-8 баллов) бросается в глаза реакция пресмыкающихся (змей, ящериц и др.) на воздействие физических и химических факторов,

идущих от очага готовящегося подземного события. И если другие виды и классы животных о подземных толчках сигнализируют в форме крика, испуга, вялости, покиданием мест обитания за 5-10 минут, или даже за час и два (см. пункты, отмеченные буквами А,В,Г,Д,Ж,Е,З на рис. 6.2.1 и 6.2.2 то пресмыкающиеся (змеи, ящерицы, дождевые черви) предчувствовали предстоящие подземные толчки за двое и более суток (см. пункт Б на рис. 6.2.2). Почти аналогичные данные получили и Украинские биосейсмологи, проводящие исследования на эндомических рептилиях [303]. Есть конечно отдельные единичные особи и среди классов млекопитающих, например, кошка, которая за двое и более суток почувствовала приближение катастрофы и покинула дом. Эта же закономерность наблюдается и при 9 - 10 баллах Суусамырского землетрясения. Но здесь, в отличие от предыдущего, реакция животных на предстоящее бедствие выражена очень ярко. Например, змеи проявили беспокойство за 10 суток и более, чем остальные виды животных (см. пункт, отмеченный буквой А). При этом змеи сигнализировали о предстоящей беде и на расстоянии более чем 200 км от очага землетрясения.

Сообщение жителей аила Тунок, что черные вороны предчувствовали будущее землетрясение за 10 - 12 суток раньше, по нашему мнению, вызывает сомнение, и надо будет в будущем эти факты тщательно проверить и сопоставить с этими данными. Согласно графику, начиная от эпицентра и до 90 км все виды животных проявили аномалии в поведении и люди заметили их. Затем, начиная с этой границы и до 210 км ответные реакции животных на готовящиеся подземные беды снижаются и по интенсивности, и по видам, классам, и по времени. И еще: если при 7,5 - 8 - балльном землетрясении на расстоянии от 45 до 75 км не отмечены аномалии в поведении животных (мы не могли найти рассказчика, т.е. свидетеля землетрясения), то при более сильном землетрясении все пункты, находящиеся до расстояния 210 км, отмечали аномалии в поведении животных.

Надежным индикатором, дающим знать заранее о готовящейся подземной стихии, являются и рыбы. Сообщение рыбака об исчезновении косяка рыб в водохранилище за день до толчка, перекликаются с сообщениями рыбаков, фиксированные нами при Кутургинском (26.05.87 г.) и Байсорунском (02.11.90 г.) землетрясениях . Эти сообщения рыбаков - любителей были подтверждены ихтиологами НАН Кыргызстана в Чолпон-Ате и работниками рыбопитомника, находящегося в Тонском заливе. В личных беседах и ответы на нашу анкету, полученные нами, свидетельствуют, что перед землетрясениями, иногда случающимися на Иссык-Куле, рыбы уходят от берега и возвращаются только после прекращения подземной стихии. Здесь уместно отметить и тот факт, что аквариумные рыбы по сравнению с рыбами в открытых водоемах менее

чувствительны к подземному толчку: аномалии в поведении у золотых рыбок наблюдаются за час и за два до толчка и не более, но зато они всегда на виду у людей.

Далее, при Кочкор-Атинском землетрясениях люди, имеющие кое - какие патологии, жаловались на обострение разного рода болезней, таких, как ишемическая болезнь сердца, гипертоническая и гипотоническая болезни, радикулит, ревматизм и другие. Аналогичная картина была обнаружена при многих предыдущих сильных землетрясениях, так что эти факторы являются одним из явных признаков предстоящих землетрясений.

Накоплен достаточно большой фактический материал по регистрации аномального поведения животных перед землетрясениями методом опроса населения в эпицентральных зонах после первого толчка [304,305]. Для анализа связи аномального поведения животных с сейсмичностью региона отбирались события с магнитудой $M \geq 4$, начиная с 1970 г., лежащие в зоне проявления деформационных предвестников ($R=e^M$). Было проанализировано около 4 тысяч случаев в очагах 15 землетрясений. Список этих событий приведен в таблице 6.2.1 с указанием времени, координат, магнитуды и эпицентрального расстояния. Как видно из таблицы, с увеличением магнитуды землетрясений увеличивается расстояние регистрации аномального поведения домашних и диких животных, в том числе беспозвоночных рыб, пресмыкающихся, млекопитающих и птиц. Интересно отметить, что при $R = 0 - 10$ км не всегда наблюдается нарушение поведения животных, а начиная с $R = 10 - 50$ км почти все виды животных сигнализируют о предстоящем событии. Если построить график зависимости аномального поведения животных от расстояния до эпицентра, то можно выделить три интервала расстояний: 10 - 40 км, 60 - 80 км, 100 - 150 км, где наблюдается повышение беспокойство животных.

К сожалению, подавляющее большинство данных об аномальном поведении животных перед землетрясениями получено ретроспективно, с использованием субъективных критериев выделения аномалий. Отсутствие целенаправленных систематических наблюдений за животными и неопределенные субъективные оценки могли во многих случаях приводить к ошибочной интерпретации тех или иных форм поведения в качестве аномальных. Вместе с тем очевидно, что для практического использования данные о биологических предвестниках должны быть объективными, независимыми от наблюдения, а их получение должно осуществляться на регулярной основе.

Безусловно аномальное поведение живых организмов перед сильнейшими землетрясениями в настоящее время нельзя рассматривать в качестве предвестников. Но наблюдения аномального поведения живых организмов указывают на проявление определенных особенностей

действующих геофизических полей. Обращает внимание, что перед Суусамырским землетрясением на расстоянии 20 - 45 км в восточном простирании от эпицентра наблюдались почти непрерывные аномальные поведения живых организмов (от 10 минут до несколько суток). Аномально вели одни и те же виды. Причем в пользу действия двух факторов: инфразвук (низкочастотный гул, отмечаемый перед всеми землетрясениями в Кыргызстане) и выделение литосферных газов (активизируемое при возбуждении инфразвука), указывают резкие колебания атмосферного электрического потенциала контролирующего изменением проводимости приземной атмосферы), наблюдавшиеся на расстоянии 120 км. Эти процессы наиболее вероятны и крупномасштабны на стадии распада главного очага и существенно более локализованы на афтершоковой стадии. Наблюдения за изменениями АЭП указывают еще на один действующий фактор. Как видно из рисунков, приведенных в главе VI фиксируются два типа аномалий: 1 тип - изменения АЭП, уменьшение или увеличение сигнала в пределах естественного знака электрического поля; 2 тип - резкие колебания АЭП со сменой знака. Подобные резкие аномалии АЭП наблюдали при мощных промышленных взрывах [108]. При взрывах аномальный период не превышался 1 часа. В представленных иллюстрациях аномальный период длится несколько часов (5 - 14 ч) и повторяется, что указывает на определенную периодичность действующих факторов. Природа аномалий АЭП с резкой сменой знака может быть связано с процессами электризации выделившихся углеводородных газов и механоэлектрическими процессами в поверхностном слое. Вероятно, что характер этих процессов и динамика их развития будут зависеть от геологических условий в месте контроля.

Таблица 6.2.1

Землетрясение, дата, магнитуда, координаты	R, км									
	1-10 150-200	10-20	20-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	100-150	
Сары-Камышск 5.06.70 M=6,8	4λ v 6▼	4λ 6▼	2v 4λ 6▼						4 λ	
Жаланыш- Тюпмк 25.03.78 M=6,6		4λ 3; 5v	5v 4λ 6▼	4λ 2v	6▼ 4λ		4λ		6▼	4 λ
Дараут- Курганск 2.11.78 M=7,0		4 λ 3; 6▼	4 λ,5v 6▼	4 λ	6▼			5v		
Заалайское 16.12.83 M=6,7	5 v 4 λ	5 v 4 λ	4 λ 5 v 6▼	3; 4 λ	5 v					
Газлийское 20.03.84 M=7,2	4λ 2v 6▼	4 λ 6▼	3; 6▼ 4 λ	2; 4 λ 6▼					4 λ 6▼	4 λ

Джержетельск 26.10.84 M=6,3	4λ 5 v 6▼	4 λ 6▼		4λ 5 v 6▼	4 λ 6▼		4λ	4λ 6▼		
Кайрок-Кунакск 13.10.86 M=5,7	4λ 2v 6▼ 3;	4 λ 5 v 6▼	4 λ 6▼	4 λ				4λ		
Кутурганск 26.05.87 M=4	2 v 6▼		7'	7'						
Таш-Башатск 5.03.89 M=4,5		4λ 3; 6▼	4 λ 6▼	5v 2▼ 3; 6▼	4 λ 3;6 ▼		5v 4λ			
Кочкорское 13.03.88 M=4,2	4λ5v 6▼	4 λ	4 λ							
Туурасуйское 2.11.90 M=4,5	4 λ 6▼	4 λ		4 λ						
Байсорунское 12.11.90 M=6,1		4λ 2 v 6▼	2 v 3; 4 λ	4 λ			2;			
Кош - Этерское 2.12.90 M=5,2		4 λ	4 λ							
Кочкор-Атинск. 15.06.92 M=6,2	3;	4λ 6▼	4 λ 6▼	4 λ	4 λ 6▼					
Суусамырск. 19.08.92 M=7,3		4 λ	4 λ 6▼ 3;	6▼ 4λ 3;		4λ	4λ	6▼ 4λ	4 λ 2 v	3;4 4 λ

Условные обозначения:

рыба, лягушка	v	крыса, сурок	v
змея, ящерица	;	отсутствие аномалии	'
лисица, собака	λ	курица, сорока	▼

Выводы к VI главе

1. Наблюдается некоторая закономерность аномального хода АЭП перед землетрясением и их афтершоками. Аномалия заключается в отклонении от фонового значения в сторону уменьшения за 6 -7 часов до толчка, с переходом через нулевой уровень, с последующим восстановлением знака. Аномалии такого типа, как правило, всегда сопровождаются при афтершоках. Перед самым главным толчком наряду максимумов АЭП наблюдается уменьшенный уровень «замирания» с длительностью $\tau = 10 - 14$ часов. Природа аномалий АЭП связывается с процессами электризации выделившихся углеводородных газов и механоэлектрическими процессами в поверхностном слое земли.

2. Произведено ретроспективный анализ данных об аномальном поведении животных перед землетрясениями на территории Кыргызстана. Показано, что биореакция живых организмов на заключительной стадии подготовки сильнейших землетрясений является практически

обязательным сопутствующим фактором. Это дает основание рассматривать и учитывать в работах по кратковременному прогнозу новые методы контроля, такие как мониторинг инфразвука.

Глава VII. ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КАРТИРОВАНИЯ РАЗЛОМНЫХ СТРУКТУР

Картирование геологических разломов осуществляется в основном геологическими и сейсмологическими методами. Однако точность методик невысокая. Кроме того эти методики трудно реализовать в полевых работах на местности. В связи с этим необходима разработка инструментальных методов картирования разломных структур. Эта задача является весьма актуальной при выборе и обосновании мест расположения пунктов локального контроля сейсмической опасности и при развертывании сети площадного мониторинга. В связи с этим для картирования разрывных структур использованы электромагнитные методы:

- 1 - метод анализа естественных электромагнитных полей (ЕИЭМП) ;
- 2 - метод анализа электромагнитного поля радиопередатчиков в СДВ (сверх длинноволновой диапазон) поля. Кроме того, учитывал, что в зонах активных разрывных структуры могут быть долгоживущие геохимические аномалии, для их картирования разработан метод контроля озона.

§7.1 Результаты маршрутных наблюдений ЕИЭМП в зонах активных разломов.

С целью изучения пространственных характеристик ЕИЭМП и их связи с сеймотектонической деятельностью на территории Иссык-кульской сейсмоактивной зоны проводились маршрутные наблюдения ЕИЭМП. Объектами измерений выбирались хорошо выраженные разломы и эпицентры разрушительных землетрясений. В наиболее доступных участках наблюдения выполнялись автомобильными маршрутами, а в менее доступных - пешим. В автомобильных маршрутах регистрация производилась каждые 2-10 км до пересечения разлома и после пересечения, а в пешеходных маршрутах - каждые 0,5-1 км. Все маршруты по которым выполнены наблюдения, указаны на рис.2.6. Всего было выполнено 7 маршрутов, во время которых обследованы Транс-Иссыккульский, Предтерекский, Джергаланский, Тасминский, Культорский разломы, а также Сарыкамышского (1970 г.) и Жаланаш - Тюпского (1978 г.) эпицентры разрушительных землетрясений.

Регистрацию обычно начинали за 5-6 км до разлома и заканчивали через 5-6 км после разлома. Разломы пересекались почти перпендикулярно. Маршруты старались пройти за возможно более

короткие сроки, чтобы свести к минимуму возможные изменения ЕИЭМП во времени. Влияние временных вариаций ЕИЭМП (суточного хода и других) контролировалось при помощи анализа записей постоянно действующих вариационных станций ЕИЭМП в г. Пржевальске и пос. Соколовка.

Маршрутные изменения вариаций скорости счета импульсов ЕИЭМП производились с помощью специальных портативных переносных счетчиков импульсов с батарейным питанием. Чувствительность станции по входу составляла 100 мВ/м, а область регистрируемых частот лежала в диапазоне 40 Гц-5 кГц.

В качестве приемных антенн использовались либо ферритовые антенны, либо электрические диполи с базовым расстоянием 4 м, а электродами служили два латунных штыря диаметром 8 мм и длиной 25 см, которые при измерениях забивались в землю на 2/3 своей длины. Регистрация скорости счета импульсов ЕИЭМП осуществлялась в двух направлениях - север - юг и восток - запад - либо вдоль и поперек разломов. Ориентация антенны осуществлялась по компасу. Время счета импульсов в зависимости от условий эксперимента составляло 5, 10 или 30 мин. и вычислялась средняя скорость счета за 1 мин. После этого менялась ориентация электродов и производился замер на том же счетчике в другом направлении.

Для контроля результатов наблюдений производились повторные измерения в тех же самых пунктах и с тем же прибором при неизменной чувствительности. Почти по всем маршрутам наблюдения выполнены по два и более раза, обычно с интервалом в несколько дней.

Рассмотрим результаты наблюдений по отдельным маршрутам. На рис. 7.1.1 а, б приведены результаты детализировочных работ с шагом 0,2 - 0,5 мм по маршруту 1 и 2, пересекающему Джиргаланский и Тасминский разломы. Здесь выявили приуроченность максимума аномалий ЕИЭМП над осевой частью Джиргаланского (рис. 7.1.1 а) и Тасминского разломов (рис. 7.1.1 б). Уровень поля в осевой части разломов увеличивался соответственно в 25 и 10 раз.

В измерениях по маршруту 1 (Джиргаланский разлом) обнаруживается важная деталь пространственного распределения скорости счета импульсов электромагнитного поля. В зоне разлома наивысшее значение скорости счета наблюдается на 20-30 метровом участке маршрута, где во время Сарыкамышского землетрясения 1970 года был разрушен асфальт на автодороге Пржевальск (ныне Каракол) - Тюп. Причины такой корреляции можно только предполагать. Например, она может быть вызвана отличием физических свойств пород этого участка от вмещающих.

На рис. 7.1.2 приведены результаты измерений по 200 километрованному маршруту 3, пересекающему Транс - Иссыккульский

разлом. Расстояние между пунктами наблюдений составило 10 км. Здесь, как и по другим маршрутам, скорость счета импульсов максимальна в зонах разломов.

На рис. 7.1.3 приведены результаты измерений по маршруту 4, пересекающему Предтерсейский краевой разлом в его восточной оконечности. Повышенная скорость счета в зоне разлома надежно отмечается при ориентировке максимума диаграммы направленности антенны вдоль разлома в направлении З - В.

Дважды был пройден профиль в районе Кунгей - Заилийского разлома (участок Культорский, маршрут 6), и здесь также наблюдается повышенная скорость счета импульсов в зоне разлома.

Воспроизводимость результатов измерений иллюстрирует рис. 7.1.4, где приведены графики измерения скорости счета импульсов ЕИЭМП по маршрутам 1 и 2, пересекающему Джиргаланский и Тасминский разломы, в августе - сентябре 1980 года. Результаты приведены на рис. 7.1.4, они подтверждают факт распространения регистрируемых импульсов преимущественно вдоль разломов.

Маршрутные измерения были проведены в районе эпицентра Сарыкамышского землетрясения. Значительное повышение уровня ЕИЭМП наблюдается в районе эпицентра, так как он расположен вблизи Киргизко-Теракийского разлома (рис. 7.1.5). В районе Жаналаш-Тюпского землетрясения проведено три маршрутных измерения. Они тоже дали повышенный уровень ЕИЭМП в районе эпицентра.

Таким образом, в результате проведенных маршрутных измерений обнаружено, что все зоны активных геологических разломов характеризуются повышенным уровнем ЕИЭМП. Максимальный уровень интенсивности наблюдался на составляющей поля, ориентированной вдоль зоны разломов.

Сам по себе факт обнаружения повышенной скорости счета импульсов ЕИЭМП над разломами не может служить доказательством или опровержением литосферной природы регистрируемых импульсов. Возможно две причины повышенного счета ЕИЭМП в зонах живущих разломов:

1. Изменение условия приема сигналов от внешних источников за счет изменения проводимости в зоне разломов. Хорошо известная зависимость параметров различных электромагнитных полей (радиоволнового поля грозových разрядов) на поверхности Земли от электрических свойств приповерхностных горных пород. В этом смысле разлом можно рассматривать как участок с повышенной проводимостью пород.

2. Геологический разлом сам может являться источником импульсного электромагнитного излучения в период сейсмической активности и в

спокойный период, так как процессы деформации активизируют всю систему разломов в регионе.

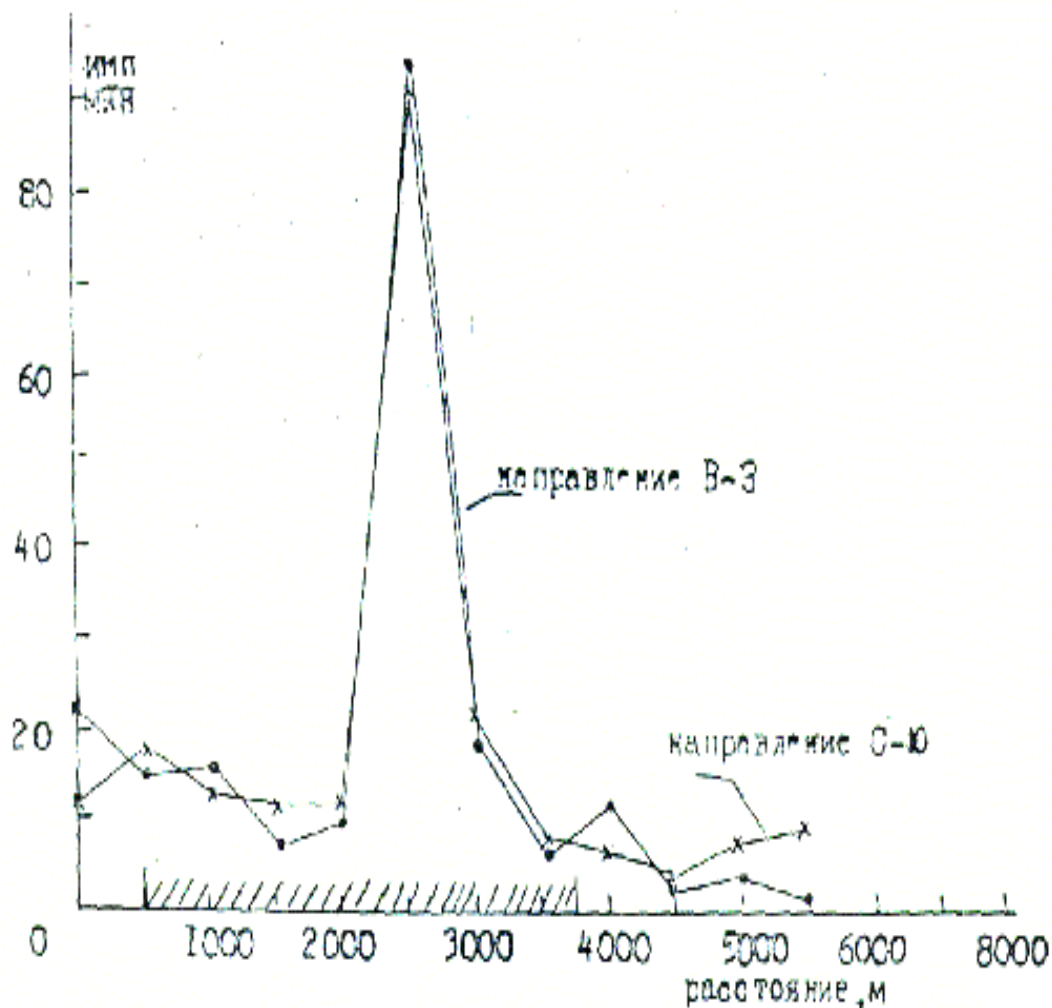


Рис.7.1.1 а. Изменение скорости счета импульсов ЕИЭМП при пересечении зоны Джергаланского разлома по маршруту 1.

//////// - зона разлома (03.09.1980 г.)

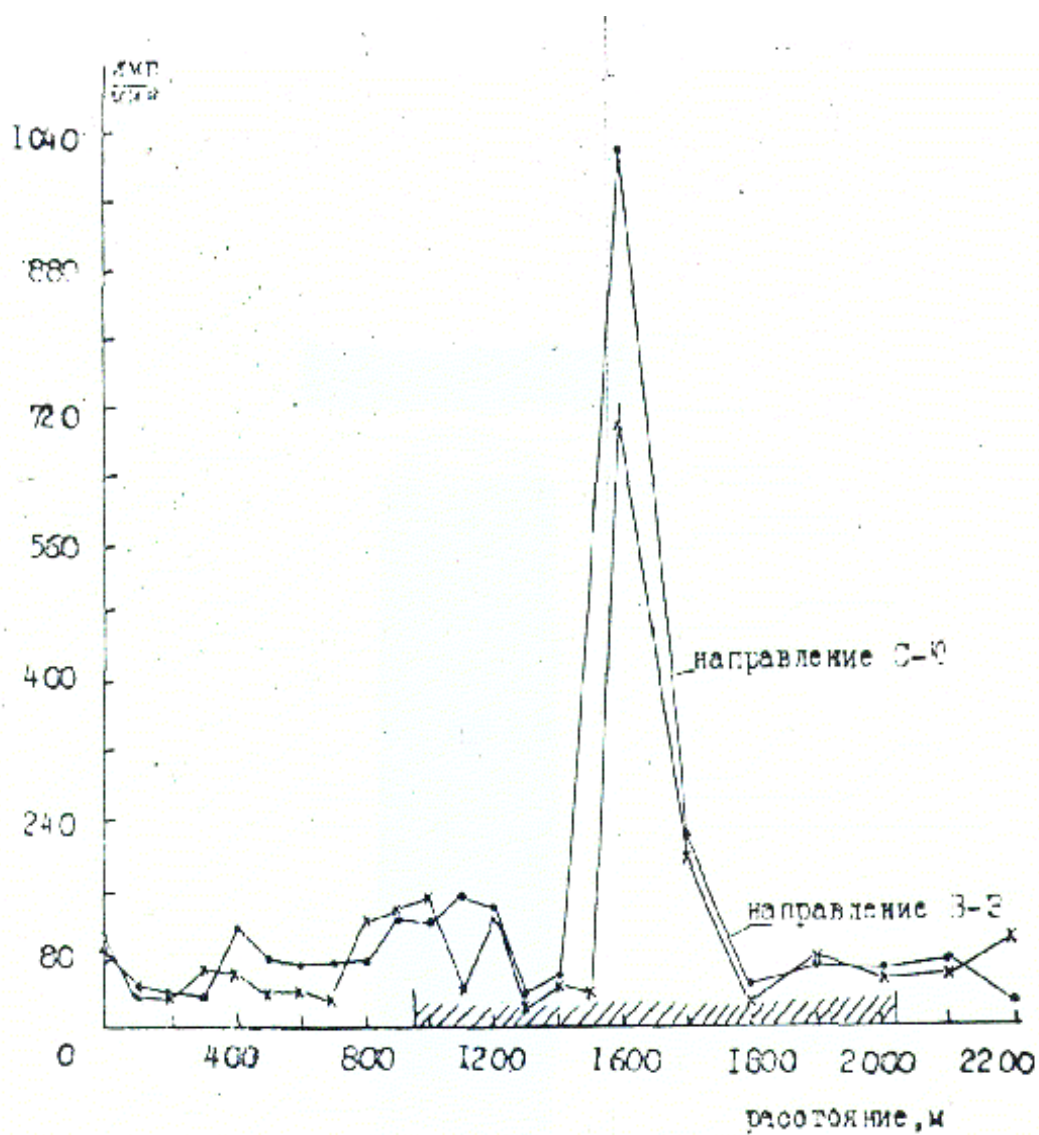


Рис. 7.1.1 б. Изменение скорости счета импульсов ИИЭМП при пересечении зоны Тасминского разлома по маршруту 2.

//////// - зона разлома (28.09.1980 г.)

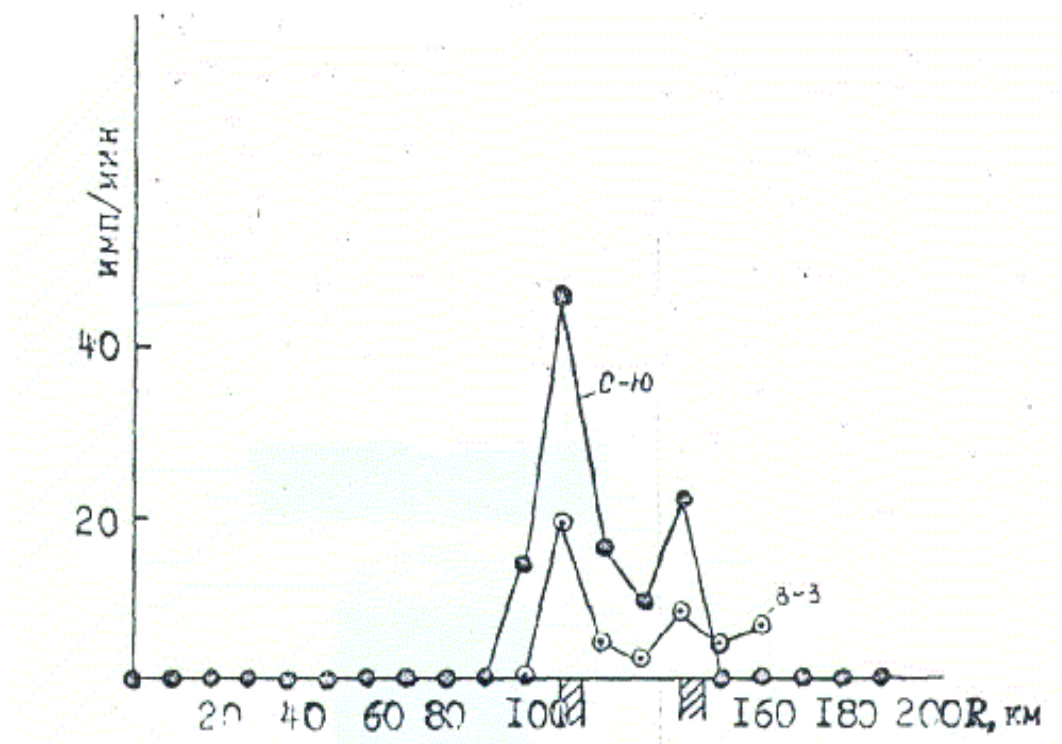


Рис. 7.1.2. Изменение скорости счета импульсов ЕИЭМП
по маршруту 3. (19.08.1980 г.)
//////// - зона разлома XII (Транс-Иссыккульский)

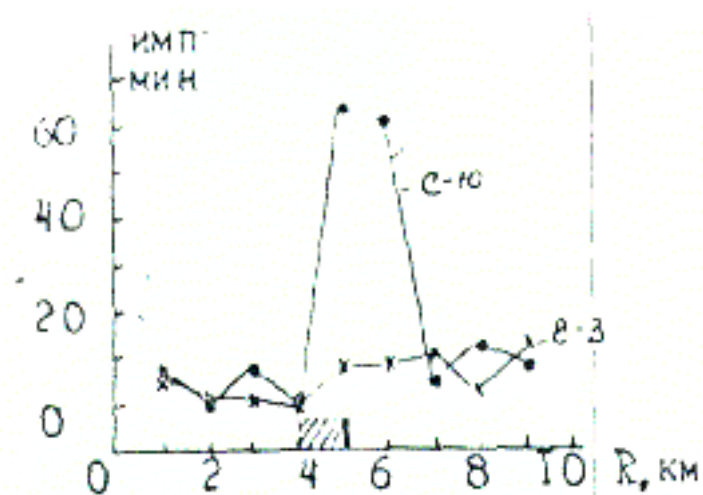


Рис. 7.1.3. Изменение скорости счета импульсов ЕИЭМП
по маршруту 4. (23.08.1980 г.)
//////// - зона разлома II (Предтерскойский)

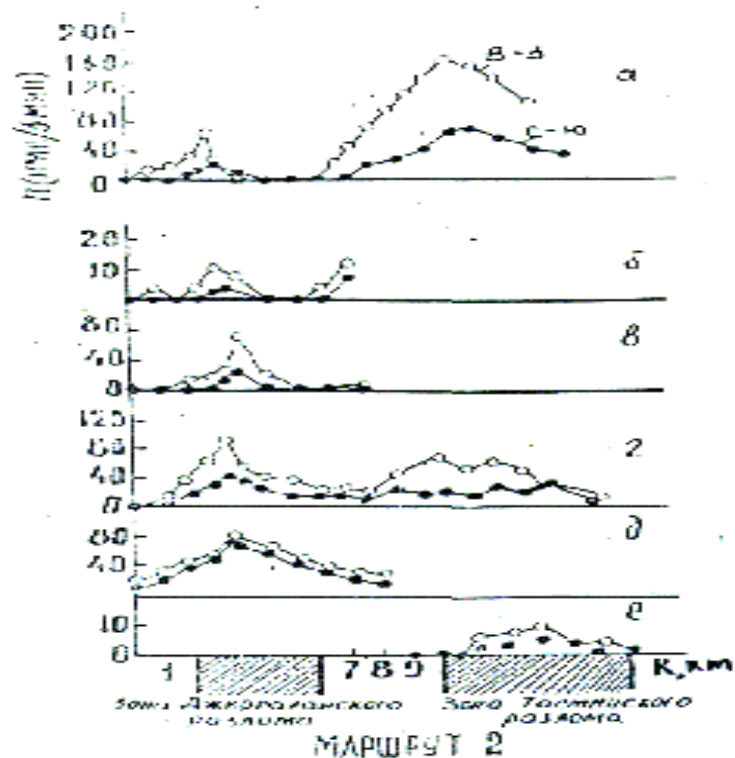


Рис. 7.1.4. Изменение скорости счета импульсов ЕИЭМП
по маршруту 1-2.

а – 20.08.1980	с 16 – 35 до 22 – 35 (местное время)
б – 22.08.80	с 14 – 15 до 16 – 30
в – 3.09.80	с 11-00 до 15-35
г – 5.09.80	с 10-00 до 16-10
д – 18.09.80	с 10-00 до 13-30
е – 28.09.80	с 11-00 до 14-30

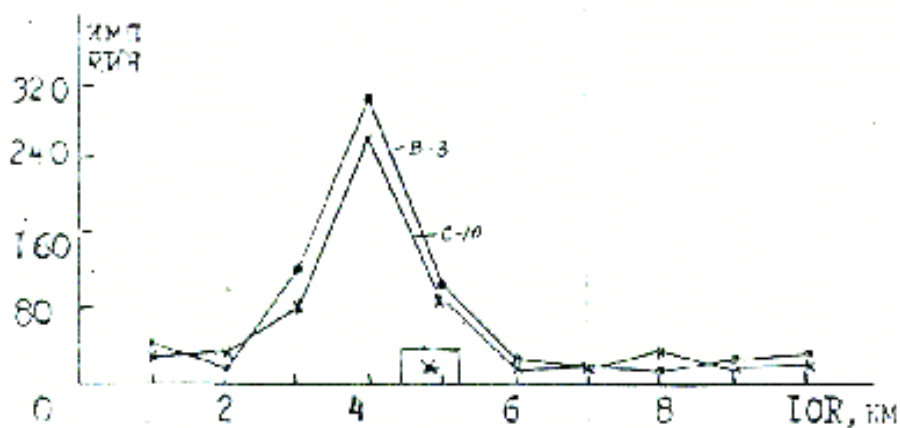


Рис.7.1.5. Изменение скорости счета импульсов ЕИЭМП в зоне
эпицентра Сары-Камышского землетрясения (15.08.1980 г.)

* - зона эпицентра

§ 7.2 Исследование разломов СДВ - зондированием с использованием радиопередатчиков.

Как было указано выше, геологический разлом сам может быть источником импульсного электромагнитного излучения в период сейсмической активности, приводит к вопросу, где именно организовать пункт регистрации параметров электромагнитного поля. Для этого весьма важно знать ширину зоны разлома (ширина его области активного динамического влияния (ОАДВР), где намечается произвести регистрации параметров электромагнитных полей. На сегодняшний день информация по количественной оценке ширины ОАДВР крупных разломов остается малоизученным параметром, т.е. для разломов большой протяженности определения их латеральных границ по комплексу признаков носит всегда приблизительный характер.

Один из геофизических параметров для определения их латеральных границ является изменения относительного электрического сопротивления горных пород ($\rho_{эфф.}$) в зоне разлома. Для определения $\rho_{эфф.}$ использовался метод высокочастотного электромагнитного поля - метод сверхдлинноволнового зондирования (СДВЗ).

Метод сверхдлинноволнового зондирования. Это модификация метода радиокпы (радиокомпарирования и пеленгации). Разработанный в СНГ А.Г. Тарховым. Метод радиокпы описан во многих литературах по электроразведке. Поэтому остановимся вкратце только на методе СДВ зондирования (СДВЗ).

В методе СДВЗ используется поля сверхдлинноволновых радиостанций, имеющих частоты 10 - 30 кГц. Сверхдлинные волны имеют ряд преимуществ: большую глубинность, небольшое затухание поля даже при расстояниях в тысячи километров от радиостанции, малые вариации первичного поля, преобладание токов проводимости над токами смещения практически для всех горных пород. На больших расстояниях от передатчика амплитуда поля убывает медленно, и она распространяется в виде плоской, вертикально поляризованной волны параллельно поверхности земли. Для такой волны входной импеданс полупространства Z_1 , [306]

$$Z_1 = \frac{E_z}{H_j} \quad (7.2.1.)$$

где E_z - радиальная компонента электрического поля,

H_ϕ - горизонтальная, азимутальная компонента магнитного поля.

Измеряя Z_1 , можно определить сопротивление среды [306]:

$$r = \frac{1}{m_0 w} |Z_1|^2 \quad (7.2.2)$$

Или упрощенный вид [307]

$$r = 60I|Z_1|^2 \quad (7.2.3)$$

Вследствие всех эффектов, возникающих по причине неоднородности геоэлектрического разреза магнитное поле сдвинуто по фазе относительно электрического на угол φ .

Для волн СДВ диапазона глубины проникновения волны h , при котором волна на поверхности земли H_0 ослабевает, проникая в землю, до величины H_0 определяют по формуле [307]:

$$h \approx 0,07 \sqrt{\frac{I}{s} \lg \frac{H_0}{H_n}}$$

Активным по [307] считается слой почвы, в котором погружающееся поле упало примерно в 5 - 6 раз, поэтому для толщины активного слоя почвы формула примет вид:

$$h \approx 0,05 \sqrt{\frac{I}{s}}$$

Но в других материалах [306] и [307] за критерий активного слоя принимают слой почвы, в котором поле затухает в 2,7 раза, а по фазе отстает на один радиан:

$$h = 0,03 \sqrt{I_0 r_{\delta a}} = 0,03 \sqrt{\frac{I}{s}}$$

где $\rho_{уд}$ - удельное сопротивление Ом/м.

$$h_{\max} = \sqrt{\frac{2r_{уд}}{wm_0}} = d_3$$

где δ_3 - глубина скин - слоя.

Эксперименты проводились на установке СДВР - 4, применяемой в геофизической разведке по методу радиокип (разработка ЦНИГРМ Мин Гео СССР) с полосой пропускания 170 Гц на частоте 15,1 кГц и на установке ИПИ - 300 совместно с сотрудниками Томского госуниверситета: Поповым Л.Н., Захаренко В.Н. Регистрировались амплитуда СДВ - сигналов горизонтальной составляющей электрического и магнитного компонент. Измерения проводились при перпендикулярном пересечении Тасминского разлома фаз между E_z и H_φ составляющими поля и модуль импеданса Z_1 , по которому находилось электрическое сопротивление среды. По $\rho_{эфф.}$ можно судить об эквивалентной средней плотности поверхности пород, по φ - однородность поверхностного слоя.

Измерения показали, что полученные результаты позволяют

определить границы разломов. Графики изменения по профилю Тасминского разлома приведены на рис. 7.2.1. В зоне разлома было характерно увеличение относительного электрического сопротивления по сравнению с общим фоновым уровнем. Параллельные исследования фазового сдвига между E_z и H_ϕ - составляющими СДВ - сигнала, показывают изменения фазы в приграничных слоях разлома. Определив точки с резкими изменениями значений $\rho_{эфф.}$ и сдвига фаз, замерив расстояния между ними, можно с наибольшей вероятностью судить о ширине разлома. В нашем случае ширина Тасминского разлома составила 160 м, когда геологи предполагают 400 м. Повторные измерения показали устойчивость результатов.

Таким образом, исследовав зоны разломов СДВ - зондированием можно точно определить пункт для регистрации геофизических параметров.

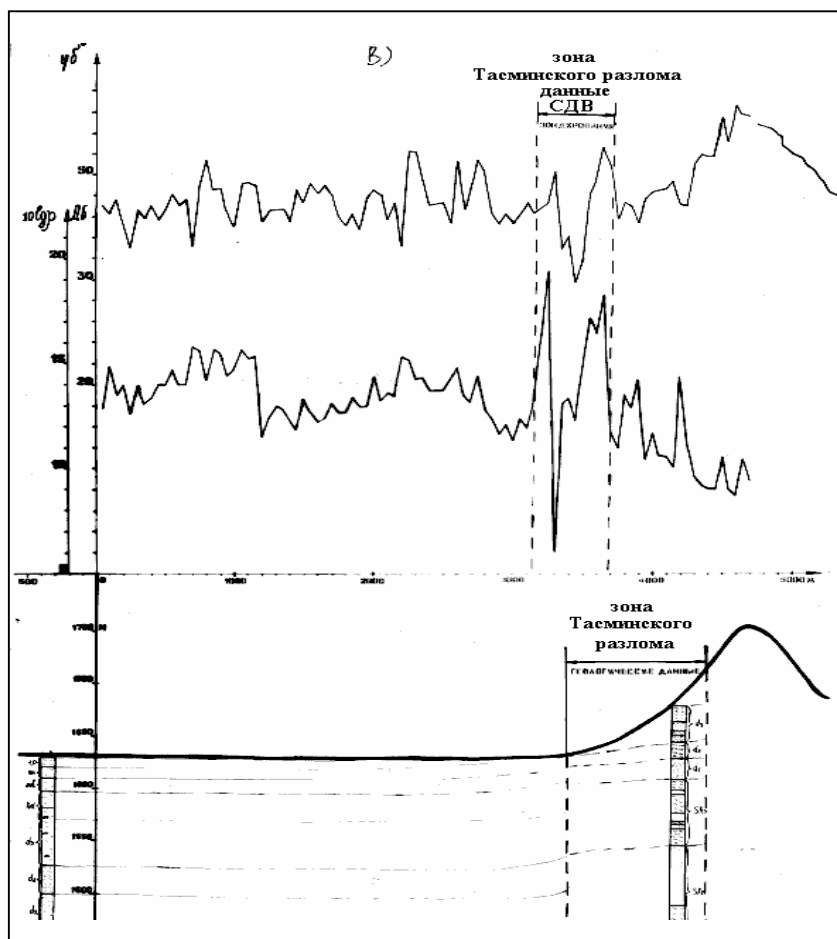


Рис.7.2.1. График изменения $\rho_{эфф.}$ и φ по профилю Тасминского разлома.

§ 7.3 Результаты маршрутного исследований концентрации озона приземного слоя атмосферы в зонах геологических разломов

По общепринятым представлениям озон в естественных условиях возникает в верхних слоях атмосферы под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. К поверхности Земли он поступает за счет вертикальной атмосферной циркуляции [308]. Другой естественный процесс возникновения озона в атмосфере вблизи земной поверхности - это грозы. Озон генерируется в плазме грозовых электрических разрядов.

Озон - сильный окислитель, поэтому при контакте с частицами пыли в атмосферном воздухе, с поверхностью почвы и некоторыми типами горных пород он быстро химически реагирует. Озон низких концентраций в чистом атмосферном воздухе при обычных температурах распадается очень медленно [309]. В лаборатории озон наблюдается всегда после электрического разряда в воздухе. Возникает он при облучении воздуха ультрафиолетовым, рентгеновских и γ - ионизирующими излучениями. Нернст показал, что кислород при нагревании до высоких температур частично переходит в озон. Если предварительно нагретый кислород (или смесь кислорода с другими газами) быстро охладить, то высокая концентрация сохраняется и при низких температурах [310].

В 60-х годах выдвинута [21] гипотеза возникновения в земной коре высоких электрических полей, электрических разрядов и связанных с ними импульсов электромагнитного поля [53]. Исследования, проведенные на искусственных диэлектрических материалах и горных породах показали, что электрические разряды происходят между заряженными “ бортами ” растущих в этих материалах трещин.

При постановке исследований, результаты которых излагаются ниже, предполагали, что при деформационных процессах в горных породах, в условиях их естественного залегания возможна генерация озона. Озон может возникать в литосфере в районах с весьма высокими градиентами скоростей современных тектонических движений горных масс, где велики тектонические напряжения и процесс трещинообразования идет постоянно. Можно указать еще две возможные причины возникновения озона в недрах Земли. В горных породах со значительным содержанием радиоактивных элементов озон может возникать под воздействием естественного радиоактивного облучения. В этом случае образованию озона будут предшествовать реакции радиолиза кислородсодержащих минералов с выделением свободного кислорода. Факт частичного перехода кислорода в озон при нагревании [310] дает основание предполагать, что содержание озона в кислороде, поступающем на поверхность Земли из недр Земли, где температура превышает 1000°C , может исчисляться десятками процентов. Ниже приведены результаты опытов Нернста по определению

концентрации озона в кислороде, нагретом до различных температур.

	1296°	2048°	4500° C
Содержание озона в смеси с кислородом, %	0,15	1,52	16,50.

При повышении давления равновесие в системе кислород - озон смещается в сторону озона. Поэтому в мантийном кислороде при указанных выше температурах следует ожидать значительно более высокой концентрации озона.

Необходимые условия для наблюдения на поверхности Земли поступающего из литосферы озона - это трещиноватость пород, наличие каналов для выхода глубинных газов. Геологические разломы удовлетворяют условиям наблюдения озона из недр Земли. В зоне живущего разлома происходит трещинообразование в породах. Глубинные разломы, рассекающие земную кору вплоть до верхней мантии, могут быть способны обеспечить выход на поверхность Земли мантийных газов, в том числе кислорода и озона. Важным является вопрос инертности озона к минералам и горным породам. Лабораторные опыты показывают, что основные породообразующие минералы - кварц и полевошпат не взаимодействуют с озоном. Почвенный слой в составе которого много органических веществ, будет служить хорошим экраном для литосферного озона, так как озон легко взаимодействует с большинством органических соединений.

Наблюдения эманаций литосферного озона были проведены нами в районе Иссык - Кульской впадины и ее горного обрамления. Вокруг Иссык - Кульской впадины имеется несколько сейсмогенных зон, характеризующихся высоким уровнем современной сейсмической активности. В этом районе трассируются глубинные геологические разломы с различными временами заложения. Многие из этих разломов “омоложены” недавними разрушительными землетрясениями [224].

Для регистрации озона в приземном слое атмосферы был использован хемилюминесцентный метод, описанный в [311]. Суть метода состоит в том, что воздух, забираемый из атмосферы или почвы, перекачивают через мишень, люминесцирующую под воздействием озона. По интенсивности свечения, регистрируемого с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), определяют концентрацию озона в пробах воздуха.

Переносный хемилюминесцентный анализатор озона был выполнен на базе радиометра типа СРП - 2. У радиометра вместо кристалла - сцинтиллятора установили камеру с хемилюминофором, через которую ручным насосом перекачивали воздух. Для измерения тока ФЭУ изготовлен измерительный усилитель с большим входным сопротивлением

на микросхеме К284УД1. Чувствительность усилителя с микроамперметром радиометра составило 10^{-9} А/деление.

Для доказательства существования потока озона из литосферы было проведено изучение пространственного распределения озона в приземном слое атмосферы и его связи с сейсмотектоническими структурами.

Маршруты для проведения измерений концентрации озона выбирали таким образом, чтобы они пересекали геологические разломы и зоны значительных тектонических напряжений. Движение по маршрутам совершали на автомобиле, а на труднодоступных участках пешком. Применение автомобиля позволило, за счет сокращения продолжительности измерений, уменьшить влияние суточных вариаций на получаемое пространственное распределение концентрации озона. Этой же цели служили измерения по маршрутам в разное время суток. Для уменьшения разброса данных, связанных с короткопериодными вариациями концентрации озона, которые вызваны ветровыми движениями приземного воздуха в каждой измерительной точке маршрута делали 3 - 4 замера. Результаты замеров усредняли. Чтобы исключить уменьшение чувствительности озонометра, обусловленное старением хемилюминесцентной мишени, перед измерениями по каждому новому маршруту в озонометр устанавливали свежую стандартную хемилюминесцентную мишень [311].

На рис. 7.3.1 приведены результаты измерений по маршруту 1, пересекающему Джергаланский (1) и Тасминский (11) разломы (см. рис.7.3.2). Градуировка озонометра в абсолютных единицах не имела принципиального значения, поэтому здесь и далее концентрацию озона приводим в относительных единицах. Максимумы концентрации озона имели место в зонах разломов. 15 кривых, построенных по результатам измерений на маршруте 1 в августе - ноябре 1980 г., иллюстрируют воспроизводимость пространственного распределения концентрации озона и надежность вывода о повышенной концентрации озона в зоне геологических разломов.

Некоторый разброс данных наблюдений, вероятно, обусловлен временными вариациями концентрации озона. Максимум концентрации озона вдоль южной границы Иссык-Кульской впадины приходится на участок 200 - километрового маршрута 2, проложенный по зоне с градиентами скоростей вертикальных тектонических движений порядка $(2-10) \cdot 10^{-7}$ мм/год·мм (рис. 7.3.3). Измерения по маршруту 3, пересекающему новейший Культорский краевой разлом III в районе поселка Чок-Тал, показали самую высокую за период наблюдений концентрацию озона. Максимум концентрации отмечается в зоне разлома, к которой примыкает зона наивысших градиентов скоростей современных вертикальных тектонических движений (рис.7.3.5).

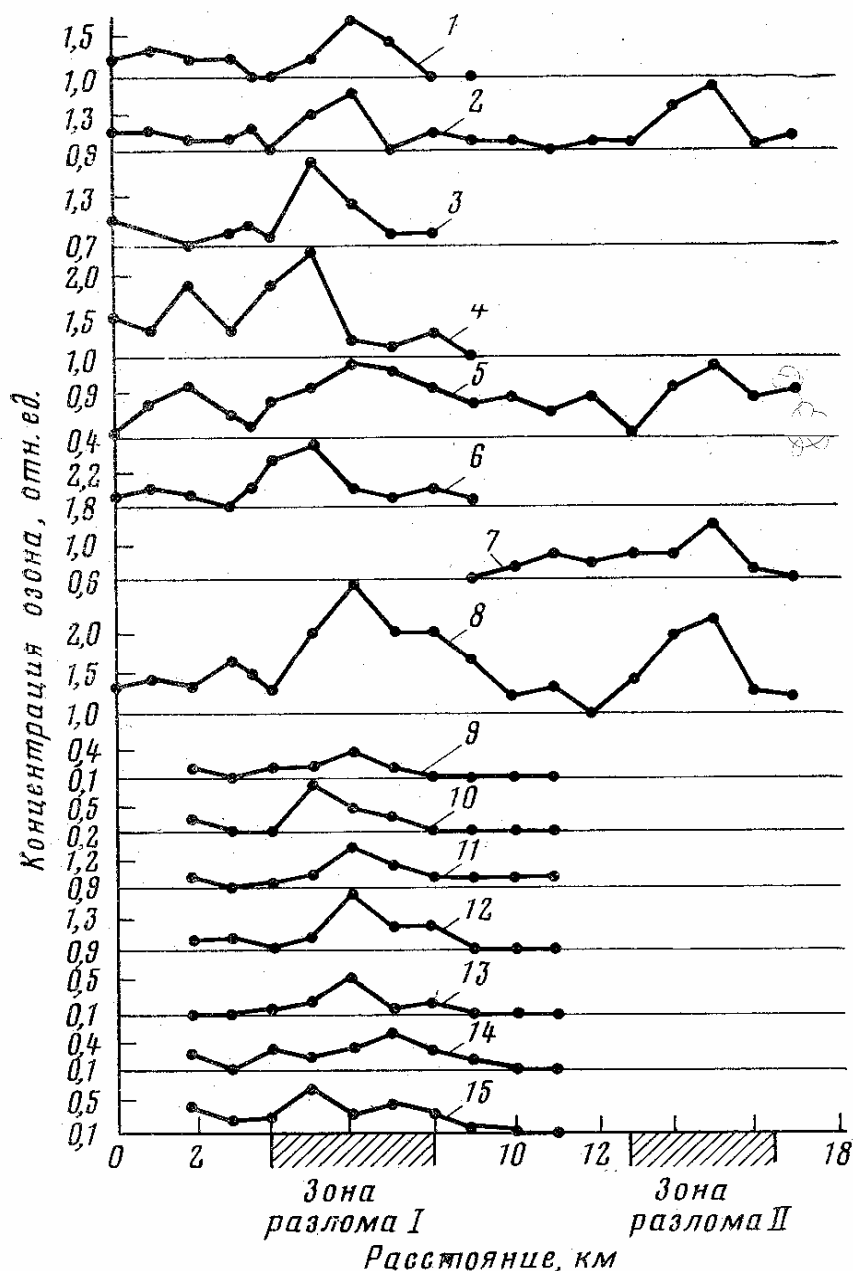


Рис. 7.3.1. Изменение концентрации озона по маршруту 1, пересекающему Джергаланский и Тасминский разломы.

1-20.8.80 с 16.37 до 18.35; 2 - 21.8.80 с 10.50 до 16.00; 3 - 22.8.80 с 14.15 до 16.29; 4 - 3.9.80 с 11.00 до 15.35; 5 - 5.9.80 с 10.00 до 16.10; 6 - 18.9.80 с 10.00 до 13.30; 7 - 28.9.80 с 11.00 до 14.30; 8 - 5.10.80 с 11.00 до 16.20; 9 - 10.11.80 - 10.11.80 с 17.15 до 20.10; 10 - 11.11.80 с 16.00 до 18.34; 11-12.11.80 с 18.15 до 20.05; 14 - 17.11.80 с 18.15 до 20.05; 13-15.11.80 с 18.15 до 20.05; 14-17.11.80 с 18.15 до 20.05; 15 - 18.11.80 с 18.15 до 20.05. Время местное.

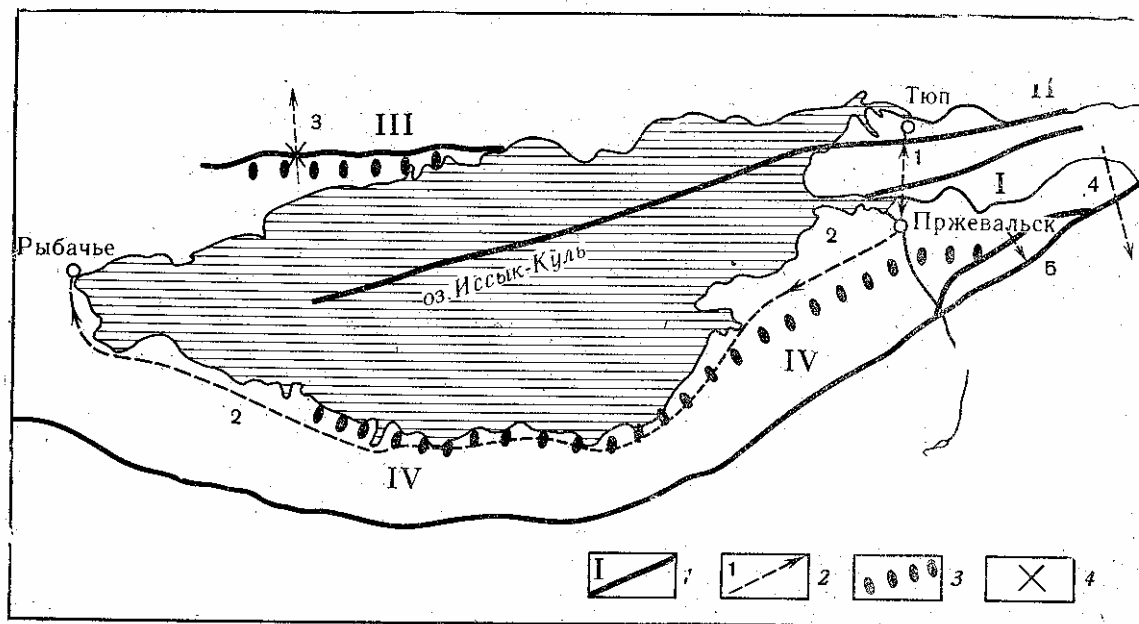


Рис. 7.3.2. Картограмма маршрутов для измерения концентрации озона 1 - разломы: I - Джергаланский, II - Тасминский, III - Культорский, IV - Предтерскойский; V - маршруты, их номера и направление движения; 3 - зоны максимальных градиентов скоростей вертикальной составляющей современных тектонических движений, $(2 - 10) \cdot 10^{-7}$ мм/год·мм; 4 - место измерений концентрации озона в почвенном воздухе.

Приведенные данные о пространственном распределении озона в приземном слое воздуха, о его высокой концентрации в зонах разломов и в районах с высокими тектоническими напряжениями однозначно интерпретируются как следствие поступления в воздух значительного количества озона из недр Земли. Если считать, что весь регистрируемый озон поступает в приземный слой воздуха из стратосферы за счет атмосферной циркуляции, то факты пространственной корреляции максимумов концентрации озона с зонами разломов и в особенности с теми их участками, где имеют место высокие градиенты скоростей современных орогенических движений, становятся совершенно необъяснимыми. Утверждение о том, что определенная часть озона в приземный воздух поступает из литосферы, подтверждается сравнительными измерениями концентрации озона в приземном слое атмосферы и в почвенном воздухе, взятом из выемок глубиной до 2 м. Измерения были проведены в зоне Культорского разлома. Данные измерений концентрации озона приводятся ниже.

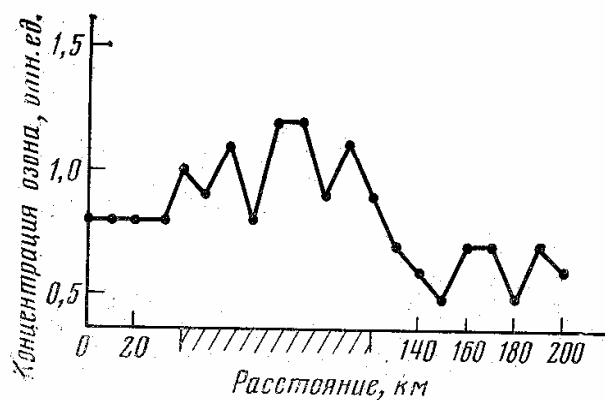


Рис. 7.3.3

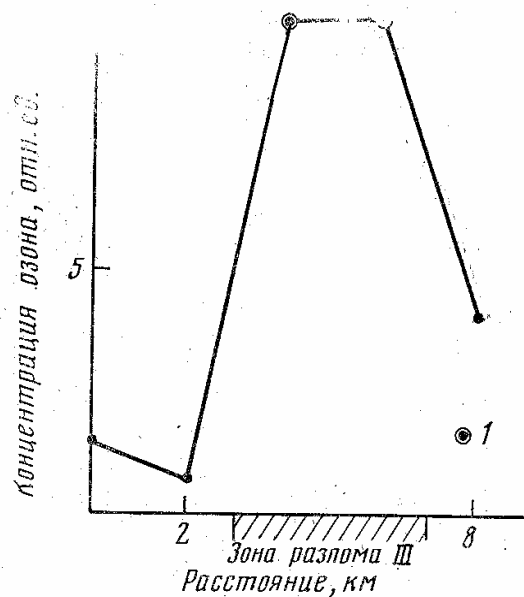


Рис. 7.3.4

Рис. 7.3.3. Изменение концентрации озона по маршруту 2 вдоль южной границы Иссык - Кульской впадины (18.8.80 с 10.10 до 19.00 местного времени).

Рис. 7.3.4. Изменение концентрации озона по маршруту 3, пересекающему Культорский разлом (28.8.80 с 11.44 до 16.46 местного времени).

№ замера	Концентрация озона в атмосфере, отн. ед	Концентрация озона в почвенном воздухе, отн. ед.
1	4	40
2	4	36

Отсюда следует, что концентрация озона в почвенном воздухе примерно на порядок выше, чем в атмосферном. Это прямое наблюдение, доказывающее существование потока озона из литосферы. Результаты измерений концентрации озона позволяют сделать вывод, что в районах с интенсивно протекающими геодинамическими процессами озон поступает в приземную атмосферу не только из стратосферы, но и из литосферы.

Для объяснения наблюдаемой концентрации озона в приземном и почвенном воздухе над разломами следует предположить, что озон в недрах Земли образуется непрерывно. Поэтому литосферный озон как сильный окислитель должен играть существенную роль в геохимических процессах.

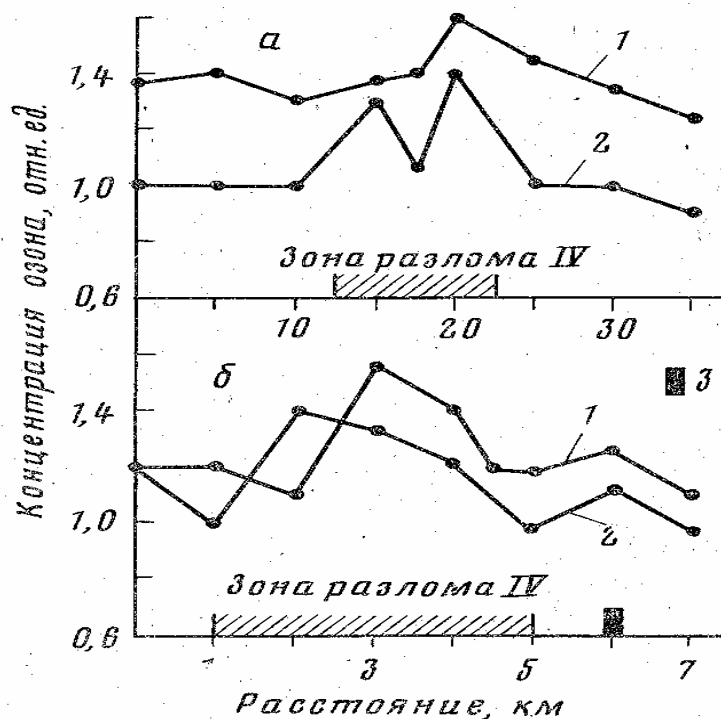


Рис. 7.3.5. Изменение концентрации озона по маршрутам, пересекающим Предтерской разлом
 а - маршрут 4: 1 - 15.8.80 с 15.25 до 19.33; 2 - 23.8.80 с 9.05 до 12.00;
 б - маршрут 5: 1 - 12.9.80 с 10.30 до 16.20; 2 - 9.9.80 с 10.00 до 15.30.
 Время местное. 3 - зона сейсмодислокаций Сарыкамышского землетрясения 1970 г.

Недавно выполнены работы (см. обзор [312]), на основании которых авторы делают вывод о том, что только меньшая часть озона в приземной атмосфере (нижней тропосфере) обусловлена поступлением стратосферного озона. Обсуждаются различные источники тропосферного озона. Полученные нами результаты показывают, что значительная часть озона в тропосфере может быть обусловлена поступлением озона, возникающего в литосфере и мантии Земли.

Выводы к главе VII.

1. В результате проведенных маршрутных измерений обнаружено, что все зоны тектонических разломов характеризуются повышенным уровнем ЕИЭМП. Максимальный уровень интенсивности наблюдается на составляющей поля, ориентированной вдоль зоны разломов.

2. Методом анализа электромагнитного поля радиопередатчиков в СДВ диапазона, точно определены размеры ширины Тасминского разлома.

3. Обнаружена высокая концентрация озона приземного слоя атмосферы в зонах геологических разломов и зонах с высокими градиентами скоростей современных вертикальных орогенических движений. Сравнительные измерения показали, что концентрация озона в почвенном воздухе в зоне разлома на порядок больше, чем в атмосферном. Эти факты объясняются поступлением в атмосферный воздух значительных количеств озона из литосферы.

Глава VIII. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

§ 8.1 Результаты совокупного анализа

В предыдущие главах были изложены результаты работ по установлению эмпирических связей пространственно - временных особенностей наблюдаемых электромагнитных аномалий с конкретными землетрясениями. При этом под "предвестниками" землетрясений понимается аномальное поведение электромагнитных параметров в период, предшествующих землетрясению. После землетрясения через определенное время, различное для разных видов предвестников, аномальные отклонения исчезают.

Сформируем основные результаты исследований возмущений ЕИЭМП при сейсмических процессах.

I. Результаты исследований методом счета импульсов ЕИЭМП

1. В акте землетрясения возмущения ЕИЭМП не зафиксированы, даже при измерениях в эпицентральной зоне сильного Жаланааш - Тюпского землетрясения (25.03.78 г.).

2. При наблюдениях в зоне подготовки землетрясений возмущения ЕИЭМП были связаны с нарушением регулярности суточного хода и изменением интенсивности регулярных максимумов. Так, например, для Жаланааш - Тюпского и Алайского землетрясений была нарушена регулярность суточных ходов. В ночное время регистрировался относительный минимум ЕИЭМП. В других же случаях интенсивность ночного максимума резко возрастала. Причем эти возмущения могли проявляться последовательно. Для слабых землетрясений возмущения ЕИЭМП были связаны с увеличением интенсивности регулярных максимумов.

3. При наблюдениях за пределами зоны подготовки землетрясений возмущения ЕИЭМП в совокупности носили характер, отмеченный в п.2.

4. Эффекты нарушения суточных ходов ЕИЭМП выделены в основном перед сейсмическими событиями, тяготеющими к зонам крупных разломов (см. рис. 4.3). Аномалии для одних и тех же зон были идентичны по форме (Барскаунские землетрясения 179 и 1980 гг.).

5. Возмущения ЕИЭМП перед землетрясениями по данным регистрации в двух взаимно-перпендикулярных направлениях носили синхронный характер.

6. Длительность возмущений лежала в широких пределах, от нескольких часов до нескольких суток. Для установления зависимости длительности возмущений от энергии событий имеющихся данных

недостаточно. Однако, наблюдается тенденция увеличения длительности возмущений с ростом энергии событий. Из этих данных также следует, что длительность возмущения ЕИЭМП перед землетрясениями зависит от местоположения пункта регистрации относительно эпицентральной зоны, т.е. имеется тенденция к ее уменьшению с ростом эпицентрального расстояния. Этот вывод можно иллюстрировать данными по возмущению ЕИЭМП перед Жаланаш-Тюпским, Алайским и Иранским землетрясениями.

II. Результаты исследований ЕИЭМП методом огибающего сигнала ЕИЭМП:

1. Выявление аномалий можно разделить на три вида:

- изменение уровня огибающей фона ЕИЭМП;
- установление почти постоянного уровня фона в течение длительного времени в ночное время суток;
- увеличение амплитуды кратковременных пульсаций (импульсов) и их количества.

2. Перед землетрясениями в спектре часовых значений огибающих ЕИЭМП появляются два пика с периодами 18 и 13 часов.

Перейдем к обсуждению возможной природы источников возмущений ЕИЭМП. Из приведенных данных можно сделать вывод, что возможный источник возмущений ЕИЭМП не связан прямо с механоэлектрическими процессами. Он не лежит в поверхностном слое земной коры, в противном случае при регистрации ЕИЭМП в эпицентральных зонах можно было бы выявлять эффекты непосредственно в акте события или при прохождении под антеннами упругих волн. Источник активного излучения в верхней атмосфере также представляется недостаточным для объяснения эффектов от близких и весьма далеких землетрясений, связанных с явлениями "замирания" (ослабления ночного максимума), чередующихся со всплесками "интенсивности поля".

Поэтому наиболее вероятным представляется возмущение в верхней атмосфере, нижней ионосфере на заключительной стадии подготовки землетрясений областей с повышенным уровнем ионизации, приводящим к изменениям условий распространения атмосфериков непосредственно в надэпицентральной и соседних с ней областях (имеется ввиду появление области повышенной ионизации в D - слое).

Эта точка зрения подтверждается в работе [313]. Ниже представлены (рис. 8.1) по [313], межсуточные вариации электронной концентрации F_{ω} , полученные исключением циклической, сезонной и суточной вариаций. Анализ связи вариаций величины F_{ω} с сейсмоактивными событиями проводился методом наложенных эпох. На рисунке указаны даты соответствующих сейсмических событий и их класс. На этом же рисунке для исследуемых периодов приведены межсуточные вариации зональной,

меридиональной и вертикальной компонент скорости ветра для высот 80 - 100 см, полученные по данным радиометеорных измерений в Бишкеке. В периоды сейсмоактивных событий отмечается преобладание нисходящих движений на этих высотах. Изменения вариаций электронной концентрации F_{ω} даны для шести случаев землетрясений, имеющие место до, в период и после землетрясения с классом $K > 12$. Ряд из них, например: Жаланаш - Тюпский (24.03.78 г.), Барскаунское (6.04.79 г., 25.09.80 г.) и землетрясения 31.12.82 г. анализировано в нашей работе (см. табл. 4.3.1).

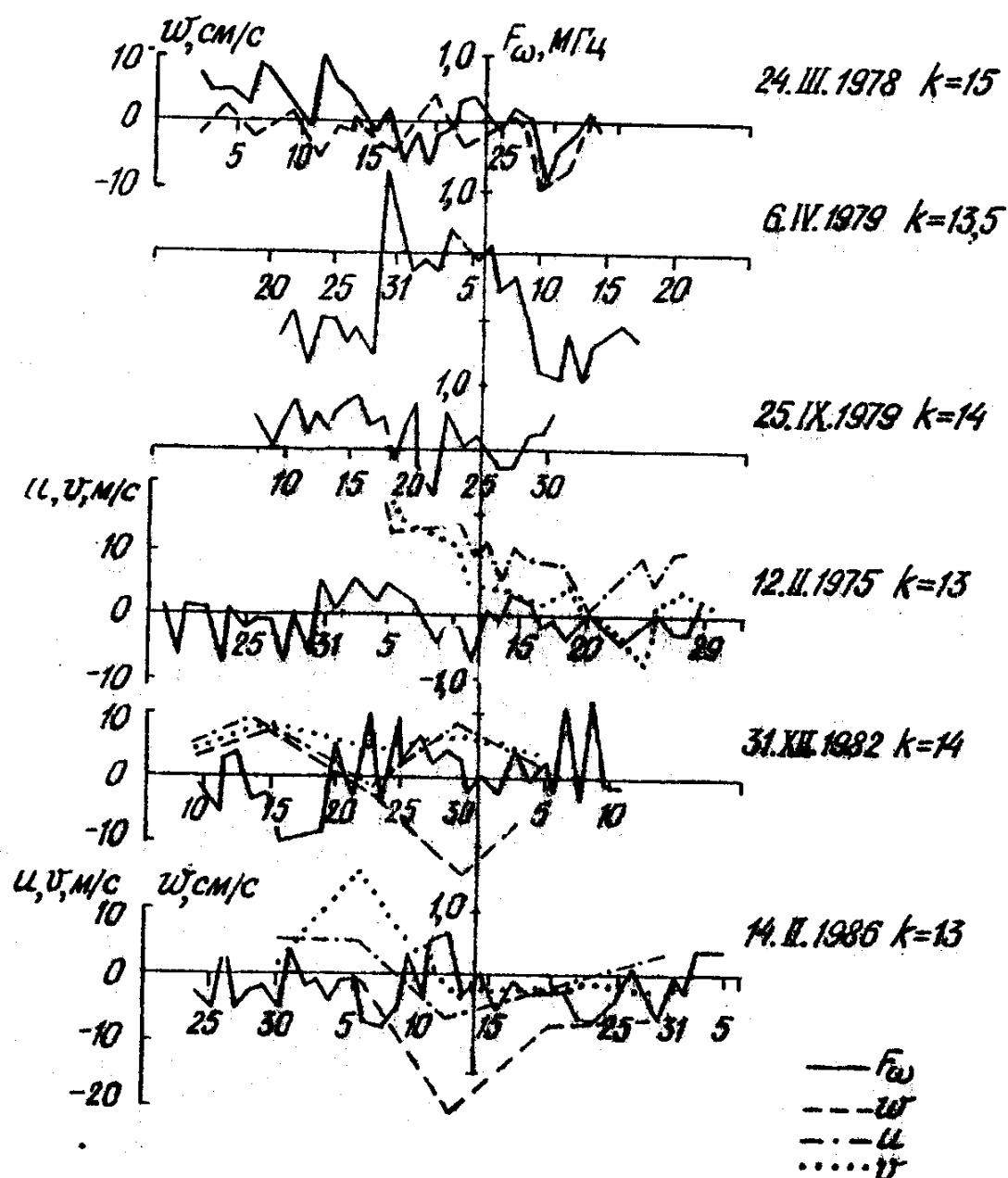


Рис. 8.1. График вариации электронной концентрации F_{ω} в ионосфере в периоды сейсмоактивных событий.

Из данных, приведенных на рис. 8.1, видна прямая связь между ионосферными возмущениями и сейсмическими событиями. За несколько суток до землетрясения наблюдается возрастание величины F_{ω} , т. е. рост электронной концентрации в слое F_2 . Таким образом, прослеживается воздействие сейсмической активности на ионосферу.

Подобные эффекты были получены на территории Узбекистана Хусамиддиновым С.С. перед рядом сильных землетрясений [160].

В наших результатах это подтверждается при регистрациях в зоне подготовки землетрясений и вне ее, а также синхронностью развития возмущений поля в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Причем область возмущений при прохождении атмосфериков имеет порядок или превышает размеры эпицентральной зоны. Однако, из приведенных данных механизм возбуждения в верхней атмосфере областей с повышенной ионизацией является пока неясным.

В то же время полученные данные позволяют по этому вопросу дать определенные соображения. Основой для этого являются данные по возмущениям ЕИМЭП перед землетрясениями, приуроченными к крупным разломам. Преимущественный характер такой связи может отражать особенности сеймотектонических процессов в зонах разломов, предшествующих сейсмическим событиям. Известны сообщения об увеличении перед землетрясениями скоростей деформирования земной коры по границам блоков и разломов, которые могут привести к крипу или подвижкам. Эти процессы являются крупномасштабными. Именно крупномасштабные деформационные процессы могут оказать влияние на параметры ионосферы (верхней атмосферы). Учитывая краткосрочный период проявления аномалий ЕИЭМП, отражающих изменение условий прохождения электромагнитных полей, необходимо рассматривать новые факторы, а именно: инфразвуковые волны, возникающие при распаде очага, и изменение проводимости приземной атмосферы за счет активизации выхода углеводородов и радиогенных газов [231].

Обнаружение и исследование аномалии атмосферно - электрического потенциала перед землетрясениями 18.03.89 г., 26.05.87 г., 19.08.92 г. с $M \geq 4 - 7,3$ могут служить подтверждением взаимосвязи вариаций АЭП в воздухе с инфразвуковыми колебаниями поверхности (см. гл.VI). Предполагается, что источник инфразвука находится в глубине и инфразвуковая волна падает перпендикулярно земной поверхности. При этом ионы приземного слоя воздуха, обуславливающие атмосферный ток, будут совершать колебания. Отношение амплитуд колебаний частиц воздуха и среды U по [314, 315]:

$$\frac{V}{U} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}; \quad t = \frac{2r^2}{9h}$$

где r - радиус, γ - плотность ионов, h - вязкость среды.

Величина τ для воздуха не превышает 10^{-5} сек. Принимая $V=U$, из чего следует, что в приземном слое под давлением инфразвука ионы будут колебаться с той же амплитудой и с той же фазой, что и частицы среды.

Исходя из выше приведенных оценок и изменений E_z (АЭП) можно судить о локальных изменениях проводимости, приземной атмосферы за счет активизации выхода углеводородов и радиогенных газов, так как источники инфразвука тесно связаны с деформационными процессами в среде.

С инфразвуком (низкочастотный гул, отмечаемый перед всеми землетрясениями в Кыргызстане) и выделением литосферных газов (активизируемое при возбуждении инфразвука) мы связываем колебания атмосферного электрического потенциала, наблюдавшиеся на расстоянии 120 км перед Суусамырским землетрясением ($M=7,3$). Наблюдение АЭП указывают также еще на один действующий фактор. Как видно из рисунков, приведенных в главе VI, фиксируются два типа аномалий:

1 тип - изменения АЭП, уменьшение или увеличение сигнала в пределах естественного знака электрического поля;

2 тип - резкие колебания АЭП со сменой знака.

Подобные резкие аномалии АЭП наблюдали при мощных промышленных взрывах [315]. При взрывах аномальный период не превышает 1 часа.

В представленных иллюстрациях перед землетрясениями 18.03.89 г., 26.05.87 г., 15.05.92 г. аномальный период длится несколько часов (5 - 20 ч) и повторяется, что указывает на определенную периодичность действующих факторов.

Природа аномалий АЭП с резкой сменой знака может быть связана с процессами электризации выделившихся углеводородных газов и механоэлектрическими процессами в поверхностном слое. Вероятно, что характер этих процессов и динамика их развития будут зависеть от условий в месте контроля.

В разделе, посвященном наблюдениям горизонтальной составляющей ЭТП, приведены примеры аномальных изменений ЭТП длительностью около 1,5 месяца перед местными землетрясениями с $K \geq 9$ и эпицентральной расстоянием 10 - 30 км. Показано, что обнаруженные аномалии величиной до 25 мВ перед землетрясением 5.03.89 г. с $K=12,6$ не носят сезонного характера. Характерной особенностью выполненных измерений оказывается то обстоятельство, что аномалии фиксируются не всеми измерительными диполями, что прямо указывает на локальный и

ориентированный источник возмущения. Сопоставление полученных данных с особенностями геологического строения (электросопротивления ρ_k по данным электротондирования) позволяет предположить, что аномалии связаны с местными геоэлектрическими особенностями, в зоне которых расположены приемные линии (рис. 5.1.11).

Сопоставление ЭТП с временным ходом dZ магнитного поля показывает, что бухтообразные аномальные изменения магнитного поля, непосредственно предвещающие землетрясение и возникающие в фазе смены знака магнитного поля, обусловлены заключительной фазой частью электромагнитных явлений, связанных с динамическими процессами в земной коре. Видимо это связано с тем, что в течение некоторого времени происходит изменение состояния горных пород, которое сопровождается соответствующий их намагниченности.

В структуре ЭТП горизонтального составляющего всегда проявлялись высокочастотные короткопериодные аномалии перед всеми землетрясениями с $K \geq 9$, причем по анализу возмущений, фиксируемых на линиях различной ориентации, делается вывод о возникновении в период подготовки местных землетрясений этих короткопериодных аномалий, которые хорошо фиксируются на линии расположенного по простиранию разлома. Полученные результаты подтверждают предположение о том, что источник аномальных изменений ЭТП не совпадает с собственно очаговой зоной готовящегося сейсмического события, а связан с очагом непосредственно через деформацию блоковой среды, т.е. имеют вторичное происхождение. Здесь можно отметить, что на станции, расположенной на расстоянии 20 км к западу от эпицентра землетрясения (5.03.89 г.), так и на станции Ала - Арча (на расстоянии 15 км к югу) отмечается понижение ЭТП горизонтальной составляющей, а на ст. Белогорка на расстояние 35 км не отмечается такого эффекта, тем самым подтверждается мозаичного контроля предвестников макроразрушения.

Следует отметить, что перед этим землетрясением (5.03.89 г.) по данным Института сейсмологии НАН Кыргызстана отмечались и другие предвестники [316]. Они выразились в скачкообразных изменениях химического состава, дебита и температуры воды (на 15 - 60 %) в течение 20 - 30 дней до землетрясения, а возвращение системы в исходное состояние продолжалось в течение марта - апреля 1989 г. Уровень подземных вод в двух скважинах в ноябре - декабре 1988 г. начал падать и к февралю 1989 г. падение уровня составило 1 - 1,5 м. Синфазности в темпе изменения уровня по скважинам не наблюдалось, что говорит так же о влиянии местных гидрогеологических условий.

Подобные вариации в сторону повышения уровня подземных вод в шести скважинах и падение по амплитуде дебита воды родников наблюдалось перед землетрясениями в феврале - марте 1989 года

сотрудниками ИВТРАН [291]. Таким образом:

1. Низкочастотные, отраженные в среднегодовых значениях вариации уровня подземных вод в скважинах и дебита родников отражают проявление деформационных процессов в среде.

2. Область, в которой в 1987 - 1989 гг. наблюдались повышенный, местами до 50 % дебит родников и подъем уровня подземных вод в скважинах до 10 м по сравнению со средними многолетними значениями, совпадают в целом с областью, занятой аномальными проявлениями ρ_k в декабре 1988 г. - марте 1989 г.

3. Это совпадение говорит о существовании области внутри сейсмогенерирующей зоны, по крайней мере в этот период, отличающейся по своему развитию от окружающих территории.

Второй раздел главы V посвящен исследованию аномальных особенностей ЭТП вертикальной составляющей. По результатам обработки данных, полученных в 1991 - 1997 гг., отмечены изменения в структуре поля в трех диапазонах (0,01 - 0,1 Гц, 1 Гц, 1- 9 кГц), интерпретируемых как предвестников землетрясений с $M \geq 4$ на эпицентральных расстояниях до 300 км. Отмечается, что перед землетрясениями аномалии выделяются не на всех диапазонах частот, а в большинства частот 0,01 - 0,1 Гц и 1 Гц, редко 1 - 9 кГц. Характер аномалий отличался в различных диапазонах частот. Обнаружены впервые в диапазоне 1 Гц "П - образные" сигналы сейсмического происхождения. Такая форма сигнала наблюдалась только в периоды времени, приуроченные к землетрясениям с $M \geq 4$. События с меньшей магнитудой не предваряются отчетливыми "П - образными" вариациями поля на тех же эпицентральных расстояниях.

Длительность "П - образных" всплесков составляет 10 - 60 минут и проявлялась в большинстве случаев за 6 - 8 суток до главного толчка. Исключением является Суусамырское землетрясение с $M = 7,3$, где "П - образные" сигналы обнаружены за 75 суток до события. В результате анализа длительных рядов наблюдений выделены 2 типа землетрясений, характеризующиеся количеством дней, в течение которых проявляются "П - образные" сигналы. К первому типу относятся землетрясения, для которых возмущения проявляются не более 1 суток. Ко второму типу землетрясений относятся возмущения, наблюдавшиеся более 1 суток. Анализ места расположения эпицентров этих типов землетрясений, относительно существующих активных разломов на территории Кыргызстана показало, что для первого типа очаги землетрясений находятся в зонах, имеющих разлом, а для второго типа землетрясений - с образованием новых разрывных нарушений среды. Такой процесс хорошо наблюдается перед Суусамырским землетрясением (19.08.92 г. $M = 7,3$).

На основе анализа геоэлектрической обстановки на площади наблюдения с привлечением данных деформометрических измерений и

уровнем подземных вод делается предположение, что этот предвестник ЭТП_{верт.} обусловлен значительными изменениями напряженно-деформированного состояния в области регистрации, и, в особенности, зоны близкорасположенного Ыссык-Атинского разлома, где отмечены максимальные изменения гидродинамики (рис. 5.2.10 и 5.2.11.).

Полученные на основе отчетливо указывают на зависимость регистрируемых эффектов от геологического строения региона. Информативность измерения позволяет сделать вывод не только о возможности контроля за напряженно-деформированным состоянием земной коры в регионе по наблюдениям на сети станций, но и целесообразности внедрения разработанных методов и аппаратуры в практику краткосрочного прогноза землетрясений.

С целью повышения достоверности выделения сейсмоаномальных эффектов проведен анализ возможных помех естественного происхождения. В частности рассмотрение техногенных, метеорологических и геомагнитных факторов показало, что сейсмоаномальные эффекты в структуре ЕИЭМП, ЭТП, АЭП - это самостоятельные явления, уверенно выделяемые на фоне излучений иной природы.

Полученные в результате этих исследований результаты подтверждают высокую информативность исследуемых процессов в земной коре.

Немаловажное значение для прогноза землетрясений имеет оптимизация сети режимных электромагнитных наблюдений. Оптимизация сети заключается в определении минимального количества пунктов, с помощью которых можно получить картину аномальных изменений электромагнитного поля Земли, учитывая наличие крупномасштабных сейсмогенных зон и локальных наиболее информативных участков контроля деформационных процессов. Принцип - чем большее количество станций и пунктов, тем полнее будет информация, экономически не выгоден и физически не оправдан. Поэтому необходима разработка инструментальных методов картирования разломных структур для выбора и обоснования мест расположения пунктов локального контроля сейсмической опасности при развертывании сети площадного мониторинга.

Для картирования разрывных структур рекомендуется три метода, изложенные в главе VII:

1. Метод анализа уровня ЕИЭМП относительно конкретного разлома.
2. Метод анализа электромагнитного поля радиопередатчиков в СДВ диапазоне для установления точного размера ширины разломов.
3. Метод контроля изменения концентрации приземного озона атмосферы в зонах разломов.

В случае обнаружения зон разломов, где отчетливо выражаются

изменения этих параметров, необходимо провести в этих зонах осциллографирование формы сигналов ЕИЭМП по методу, изложенному в главе IV с целью определения соотношения источников атмосферного и литосферного происхождения.

Все выше приведенные методы определяют зоны возможного проявления предвестников землетрясений для каждого региона или пункта наблюдений, присущие только выбранному месту. О существовании той или иной зависимости между аномальными эффектами и землетрясениями однозначно можно говорить только исходя из фактических длительных данных контроля, полученных в каждом конкретном пункте.

§ 8.2 Методология прогноза землетрясений электромагнитным способом в комплексе с другими геофизическими предвестниками.

В соответствии с "Картой долгосрочного прогноза сильных землетрясений на территории Кыргызстана масштаба 1:1000000" в Институте сейсмологии НАН КР выделены несколько районов ожидаемых землетрясений (РОЗ) с $K \geq 15$. В результате многолетних непрерывных геофизических работ в зоне РОЗ, с учетом ретроспективных опытов, определены нижеследующие геофизические предвестники (табл. 8.2.1) [317]. Здесь: периодичность изменений суммарной сейсмической энергии и фазы сейсмического режима, предназначены для прогнозирования времени землетрясения; фазы флюидного режима, предназначены для прогнозирования времени и силы землетрясения; треугольные структуры - хроногеомы сейсмичности, предназначены для прогнозирования места и силы землетрясения; аномальное изменение разностного поля ΔT по профилям и передаточные характеристики Z/H геомагнитного поля, предназначены для локализации места землетрясения; аномальные изменения электромагнитного излучения (ЭМИ) и электротеллурического поля (ЭТП), предназначены для прогнозирования времени и силы землетрясения.

В качестве критериев данных предвестниковых параметров разработаны следующие их характеристики (табл. 8.2.2): наступление периода повышения суммарной сейсмической энергии в сейсмической зоне; интенсивное трендовое увеличение ΔT поля в пределах РОЗ, достигающие своего максимального значения; разнохарактерные изменения ΔT поля с амплитудой более 10 - 15 нТл на близлежащих друг к другу (не более 15 км) пунктах наблюдений, отклонение передаточной характеристики Z/H геомагнитного поля за пределы $\pm 1,5\sigma$ среднеквадратичного отклонения; завершение фазы первичной активизации и фазы сейсмического режима; проявления в пределах

РОЗ единичных треугольных структур - хроногеомов сейсмичности;

Геофизические предвестники землетрясений Кыргызстана

таблица 8.2.1.

Предвестники сутки	Предназначение предвестников для прогнозирования				
	места	силы	годы		Месяц ы
Периодичность изменения суммарной сейсмической энергии землетрясений			+		
Проявление треугольных структур сейсмичности - хроногеомов	+	+			
Фазы сейсмического режима			+		
Фазы флюидного режима на месторождениях термоминеральных вод		+		+	+
Аномалии изменения моделей полного вектора (Т и ΔТ) геомагнитного поля по профилям	+				
Аномалии изменения передаточной характеристики (Z/H) геомагнитного поля на МВС	+				
Аномальные изменения электротеллурического поля (ЭТП)	+				+

Аномальные изменения электромагнитного излучения (ЭМИ)					+
--	--	--	--	--	---

проявление первичной активизации флюидного режима на месторождения термоминеральных вод, расположенных в близи и в РОЗ; наступление фазы вторичной активизации сейсмического режима; проявления двойных треугольных структур - хроногеомов сейсмичности; проявление вторичной активизации флюидного режима на месторождениях термоминеральных вод; аномальные изменения суточного хода электромагнитного излучения (ЭМИ) - отклонения от уровня фона $\pm 2\sigma$ и проявление "П - образных" аномальных отклонений электротеллурического поля (ЭТП).

По последовательности появлений этих перечисленных критериев предвестников могут быть выделены четыре уровня тревоги (см. табл. 8.2.2). Первый уровень тревоги является высшим уровнем, близким к главному толчку. Если не выполнены критерии 3.6 и 7 из перечисленных, то будет достигнуты уровни тревоги от 4 до 1 ожидаемого землетрясения с $K = 12 \pm 0,5$; если не выполнены критерии 3 и 6 - уровни тревоги от 4 до 1 землетрясения с энергетическим классом $12 < K \leq 14$; а при выполнении всех перечисленных критериев - уровни тревоги от 4 до 1 ожидаемых землетрясений с $K \geq 15$.

На основании ретроспективного опыта и результатов отдельных учебных прогнозов землетрясений в работе Прогнозной комиссии, созданной в Институте Сейсмологии НАН Кыргызстана в 1976 - 77 гг., подобраны экспериментальным подходом веса имеющих прогностических параметров в виде весовых коэффициентов (см. табл. 8.2.2). Весовой коэффициент (m_i) представляет собой отношение условной вероятности (P_n) при появлении о критерия предвестников, на вероятность (P_0) землетрясения в РОЗ, т.е. $m_i = \frac{P_n}{P_0}$.

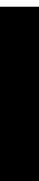
Прирост вероятности $P(3)$ - правильного прогноза, в соответствии с правилом Аки:

$$P(3) = P_0 \prod m_i$$

на четвертом начальном уровне тревоги составляет $0,02 \div 0,03$, на третьем уровне тревоги - $0,07 \div 0,009$, на втором уровне - $0,12 \div 0,14$ и на первом высшем уровне тревоги $0,18 \div 0,23$.

*Критерии комплекса:
сейсмических, геомагнитных, электромагнитных, гидрогеохимических,
гидродинамических предвестников землетрясений на территории
Кыргыстана и уровни тревоги ожидаемых землетрясений*

таблица 8.2.2.

	Критерии предвестниковых параметров		Уровни тревоги ожидаемого землетрясения			
			4	3	2	1
1	2	3	4	5	6	7
	Наступление периода повышения суммарной сейсмической энергии в сейсмической зоне	1.020				
	Интенсивное трендовое увеличение ΔT поля в пределах РОЗ достигающее своего максимального значения. Разнохарактерные изменения ΔT поля на близлежащих друг к другу (не более 15 км) пунктах наблюдений	1.015				
2	Отклонение передаточной характеристики					
б.	Z/H геомагнитного поля за пределы - $\pm 1,5\sigma$.					
3.	Завершение фазы первичной активизации и фазы затишья сейсмического режима.	1.025				
4.	Проявления в пределах РОЗ треугольных единичных структур хроногеомов сейсмичности.	1.023				
5.	Проявление первичной активизации флюидного режима на месторождениях термоминеральных вод, расположенных вблизи и в РОЗ	1.030				
6.	Наступление фазы вторичной активизации сейсмического режима	1.035				
7	Проявление двойных треугольных структур хроногеомов сейсмичности	1.040				
8.	Проявление вторичной активизации флюидного режима на месторождениях термоминеральных вод	1.030				

9.	Активизация микротолчков в пределах сейсмической станции вблизи РОЗ.	1.040				
1 0 а.	Аномальные изменения электромагнитного излучения (ЭМИ) на частоте 17,8 кГц - отклонения от уровня фона $\pm 2\sigma$.	1.050				
1 0 б.	Проявление в структуре (ЭТП) поля "П - образные" аномальные отклонения на частоте 1 Гц.	1.050				

При выполнении всех перечисленных критериев (табл. 8.2.2) будут достигнуты уровни тревоги от 4 до 1 ожидаемого землетрясения $K \geq 15$, при отсутствии критериев 3, 6, 7 - уровни тревоги землетрясения с $K = 12 \pm 0,5$, а при отсутствии критериев 3 и 6 будут достигнуты уровни тревоги землетрясения $12 < K < 14$.

В результате обобщения критериев в комплексе предвестников - прогностических параметров для среднесрочного прогноза землетрясений в пределах РОЗ, выделенных на "Карте долгосрочного прогноза сильных землетрясений на территории Кыргызской Республики" в 1994 г., в отделе прогноза ИС НАН КР составлена карта схема среднесрочного прогноза землетрясений на 1998 - 2003 гг. в масштабе 1:1000000 [318]. Проявление среднесрочных предвестников в настоящее время отвечает, в основном, начальному уровню тревоги.

По электромагнитным способам, как высший уровень тревоги предлагается прогнозировать силу и время ожидаемого землетрясения двумя методами:

1. Из графика временного ряда суточных изменений поля снимается значение аномальных амплитуд и из графика зависимости $M = -0,043 \cdot A + 2,9$ находится магнитуда землетрясения (M).

2. Из графика зависимости времени ожидания (T) или так называемого "затишья" перед землетрясениями и магнитуды (M) $\lg T = 0,31 \cdot M - 0,49$ находится предполагаемое время проявления ожидаемых землетрясений.

Таблица уровня тревоги (табл. 8.2.2) составлена с коллективом авторов отдела прогноза ИС НАН Кыргызстана, где одним из авторов является автор данной работы. Результат этих работ в виде научного отчета внедрен в МЧС Кыргызстана и в настоящее время используются для определения места, силы, времени возможных сильных толчков на территории Кыргызстана и прилегающих зон Казахстана. Акт внедрения за 1996 и 1997 гг. прилагается.

Таким образом, следует отметить, что данный комплекс геофизических предвестников в дальнейшем может быть дополнен, а функциональные возможности предвестников расширены и уточнены.

Данные режимных геофизических наблюдений на геодинамических полигонах Кыргызстана используются для пробного оперативного

прогнозирования землетрясения. В 1995- 996 годах по данным режимных электромагнитных наблюдений в Прогнозную комиссию Института сейсмологии НАН КР 6 раз был дан прогноз времени и силы ожидаемого землетрясения, который в 5 случаях оправдался по всем параметрам. Об этом было опубликовано интервью автора в газете "Вечерний Бишкек" № 109 (6498) от 6 июня 1996 г. (Текст интервью в копиях прилагается).

Вечерний БИШКЕК

Выходит с 1 января 1974 г.

1996 г.

ИЮНЬ

6

ЧЕТВЕРГ

Выходит с 1 января
1974 г.

№ 109 (6498)

Цена договорная

От первого лица

Ключ к тайнам землетрясений

В ЭТОМ ГОДУ, ПОХОЖЕ, НАЧАЛАСЬ НОВАЯ ВОЛНА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ. НАС ПОТЯХИВАЕТ КАЖДЫЙ МЕСЯЦ — ОСОБЕННО ЧАСТО И ОЩУТИМО В ПОСЛЕДНИЕ ДНИ. И ХОЧЕТСЯ ЗНАТЬ, БУДЕТ ЛИ НАС ТРЯСТИ И ВПРЕДЬ, А САМОЕ ГЛАВНОЕ — КАК СИЛЬНО И КОГДА? С ЭТИМИ ВОПРОСАМИ МЫ ОБРАТИЛИСЬ К КАНДИДАТУ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК, ЗАВЕДУЩЕМУ ЛАБОРАТОРИЕЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗОВ ИНСТИТУТА СЕЙСМОЛОГИИ АЛЫМБАЮ ТОКТОСОПИЕВУ.



СТР. 2

Ключ к тайнам землетрясений

(Окончание.
Начало на 1-й
стр.)

— Предсказать точную дату землетрясения не возьмется ни один сейсмолог ни у нас, ни за рубежом. Это по-прежнему проблема № 1. Но я считаю, что прогнозы хотя бы на ближайшие три-пять лет все-таки необходимы. Тем более, что они реальные.

С ноября 1991 года в зоне Иссык-Атинского разлома вблизи микрорайона "Асанбай" мы проводим непрерывные измерения электротеллурического поля Земли на глубине 1240 метров для улавливания предвестников землетрясений. Такие сигналы нам удалось получить и даже установить время их появления, формы и амплитуды перед землетрясениями, происходящими на территории Иссык-Кульской впадины, в Чуйской долине, Таласской и Нарынской областях. На основе этого выявлена зависимость между ожидаемым землетрясением и подаваемыми сигналами. Наши выводы и наблюдения, как мы убедились, подтверждаются. Удалось, например, предсказать землетрясения в марте и сентябре прошлого года, почти все в этом году. Так, перед землетрясением в ночь на 1 июня в районе Ат-Баши Нарынской области и в Кантском районе его предвестники

мы начали регистрировать с 20 мая, т.е. знали, что землетрясение будет в пределах 3-4 баллов, о чем заранее проинформировали руководство и вашу газету. (Действительно, мы были предупреждены о небольшом толчке с 22 мая по 2 июня — авт.)

— К чему нам в таком случае готовиться?

— Мы продолжаем вести наблюдения. И, судя по ним, сейсмическая активность на сегодняшний день продолжается.

— Сколько таких пунктов, подобных бишкекскому, на территории республики?

— Пока один. Естественно, для нашей сейсмоопасной республики — это мизер. Необходимы как минимум еще два — в Караколе и Оше. Это дало бы нам возможность более надежно прогнозировать землетрясения, поскольку ключ к их тайнам найден. Кстати, наши японские коллеги готовы абсолютно бесплатно дать нам уникальную аппаратуру для оборудования таких пунктов с условием, если мы привезем ее сами. Но даже для перевозки ее у правительства не находится средств. Министрство по чрезвычайным ситуациям, киргизские бизнесмены на наши просьбы пока отмачиваются. А жаль.

Н. НИЧИПОРОВА.

Выводы к главе VIII

1. На основе проведенных контурных наблюдений в Кыргызстане обнаружен и исследован характерный образ сигнала предвестника землетрясения в часовом масштабе времени в структуре ЕИЭМП и ЭТП, показана их деформационная природа.

2. Природа аномалий АЭП связывается с процессами электризации выделившихся углеводородных газов и механоэлектрическими процессами в поверхностном слое Земли.

3. Разработана методика использования электромагнитных данных, в комплексе с другими предвестниками, для прогноза силы и времени землетрясений.

Заключение

1. На основе проведенных исследований изучены особенности сеймоаномальных эффектов в естественном импульсном электромагнитном поле (ЕИЭМП), электротеллурическом поле (ЭТП), атмосферном электрическом поле (АЭП). На большом статическом материале детально исследовано морфология регулярных вариаций интенсивности ЕИЭМП, ЭТП, АЭП на территории Кыргызстана.

2. Изучена связь вариаций фоновой интенсивности ЕИЭМП с метеорологическими вариациями и с длиннопериодными вариациями геомагнитного поля. Связь между этими процессами не установлено, кроме близких гроз и пурги.

3. Сопоставление аномальных возмущений ЕИЭМП с сейсмическими особенностями в радиусе действия деформационных предвестников показало, что они наблюдаются преимущественно при землетрясениях, приуроченных к зонам разломов.

4. Особенности аномальных возмущений ЕИЭМП при сейсмических событиях с $K \geq 12$, лежащих в радиусе действия деформационных предвестников и вне этой зоны, заключаются в следующем:

- нарушается регулярность суточного хода ЕИЭМП,
- изменяется интенсивность регулярных максимумов, превышающих дисперсию суточных ходов в 2 и более раза,
- максимальные эффекты в возмущениях ЕИЭМП всегда предшествуют акту землетрясения,
- длительность возмущений составляет от нескольких часов до нескольких суток.

5. На значительном статическом материале исследовались морфология, пространственно-временные характеристики ЕИЭМП методом огибающей уровня поля. Установлены следующие закономерные особенности аномалий ЕИЭМП перед землетрясениями:

- установление почти постоянного уровня фона в течение длительного времени, т.е. сглаживание суточного хода, исчезновение ночных максимумов;
- увеличение амплитуды кратковременных пульсаций (импульсов) и их количества;
- в спектре часовых значений огибающих ЕИЭМП появляются два пика с периодами 18 и 13 часов.

6. Природа аномалий ЕИЭМП сейсмотектонического происхождения связывается с возбуждением в верхней атмосфере (нижней ионосфере) источников с повышенной ионизацией, приводящих к изменению условий распространения атмосфериков в волноводе Земля - ионосфера эпицентральной области.

7. Обобщены и проанализированы результаты полевых исследований вариаций горизонтальной составляющей электротеллурического поля ($\text{ЭТП}_{\text{гор.}}$), связанные с землетрясениями. В результате систематических наблюдений $\text{ЭТП}_{\text{гор.}}$ на группе станций получен материал, обработка и анализ которого позволили обнаружить аномальные изменения $\text{ЭТП}_{\text{гор.}}$ перед близкими землетрясениями. Показано, что аномалии носят хорошо выраженный локальный характер и, как правило, регистрируются в зонах неоднородностей геологического разлома.

8. Из анализа данных $\text{ЭТП}_{\text{верт.}}$ В диапазоне 0,01 - 0,1 Гц, 1 Гц, 1 - 9 Гц перед землетрясениями установлены следующие особенности:

- аномалии выделяются не на всех диапазонах частот, а в большинстве случаев они обнаруживаются в диапазоне 1 Гц и 0,01 - 0,1 Гц, редко - 1 - 9 кГц;

- в диапазоне 1 Гц сигналы сейсмического происхождения отмечались на записи резкими “П - образными” всплесками уровня. Такая форма сигнала наблюдалась только в период времени, приуроченные к землетрясениям, что позволило принять ее за образ сигнала-предвестника. Длительность “П - образные” всплески составляют 10 - 60 минут. Проявление “П - образных” сигналов зависит от места расположения очагов, готовящегося землетрясения. В случаях, когда очаги землетрясений находятся в зонах имеющихся разломов, образ сигнал - предвестника проявляются за 6 - 8 суток до события. Если очаги землетрясений находятся в зоне образования новых разрывных нарушений среды, образ сигнал - предвестника проявляются за несколько десятков суток в течение 10 - 15 последовательных дней;

- в диапазоне 0,01 - 0,1 Гц возмущения имеют форму записи сейсмических волн, т.е. более высокочастотные возмущения наблюдаются на фоне более спокойного уровня поля;

- в диапазоне 1 - 9 кГц возмущения наблюдались в виде всплескового уровня поля, модулированного высокочастотными составляющими большой интенсивности.

9. Представленные данные по совокупности аномальных изменений горизонтальной и вертикальной составляющей ЭТП перед землетрясениями

дают основание считать, что информативность в прогностическом аспекте электротеллурических наблюдений обусловлены, в основном, неоднородностью структуры площади наблюдения, близостью активных тектонических разломов, что способствует возникновению относительно больших механо - электрических эффектов.

10. Изучены закономерности аномального хода АЭП перед землетрясениями и их афтершоками. Природа аномалий АЭП связывается с процессами электризации выделившихся углеводородных газов и механоэлектрическими процессами в поверхностном слое земли.

11. При маршрутных наблюдениях впервые экспериментально обнаружено эффекты повышенного уровня ЕИЭМП, приземной концентрации озона в воздухе в зонах тектонического разлома.

Предложены и опробированы инструментальные методы картирования разломных структур для выбора и обоснования мест расположения пунктов локального контроля сейсмической опасности при развертывании сети площадного мониторинга.

12. Разработана методика использования электромагнитных данных, в комплексе с другими предвестниками, для прогноза времени землетрясений.

Литература

1. Мавлянов Г.ФА., Уломов В.И. История развития, достижения и перспективы сейсмических исследований в Узбекистане и их дальнейшее развитие // Узбекский геол. журнал. -1967, -№4, -с.7-15.
2. Дари Ж. Электричество во всех его применениях. -Спб., -1903. -448с.
3. Орлов А.П. Землетрясения и их отношения с другими явлениями природы: Заметки по поводу землетрясения 1887г. -Казань, 1887.
4. Случинов Н.П. Отчет о деятельности Казанской обсерватории за 1880г. -Казань, 1891.
5. Розе Н.В., Трубятчинский Н.Н., Яновский Б.М. Земной магнетизм и магнитная разведка. -М.: ГТТИ, 1934.
6. Петрова Г.Н. Частное сообщение. Фонды ИФЗ АН СССР, 1953.
7. Калашников А.Г. Возможности магнитометрических методов в решении вопроса о предвестниках землетрясений. Тр. Геофизического ин-та, -N25 /125/,1954. -С.162-180.
8. Чернявский Б.А. Электрическая буря. Бюлл. САГУ, -1925, -N10. -С.157-162.
9. Бончковский В.Ф. Изменения градиента электрического потенциала атмосферы, как один из возможных предвестников землетрясений. Тр. Геофизического ин-та. -1954. -N 25 /125/. -С.193-206.
10. Тихонов А.Н., Иванов А.Г., Троицкая В.А., Дьяконов Б.П. К вопросу о связи земных токов и землетрясений. Тр. Геофизического ин-та. -1954. N25 /125/. -С.181-192.
11. Бончковский В.Ф. Землетрясения и методы их изучения. -М., Л: АН СССР, -1949. -86с.
12. Гамбурцев Г.А. Перспективный план исследований по проблеме "Изыскание и развитие методов прогноза землетрясений". Кн. Развитие идей Гамбурцева Г.А. в геофизике. -М.: Наука, -1982, -С.304-311.
13. Вопросы советской науки: Прогноз землетрясений. -М.: АН СССР, -1954. -14с.
14. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Стилга В.Г. Адгезия твердых тел. -М.: Наука, 1973. -273с.
15. Урусовская А.А. Электрические эффекты при деформировании ионных кристаллов. -УФН, -1968. -Т.96, -№1. -С.39-60.

- 16.Финкель В.М. Физические основы торможения разрушения. -М.: Металлургия, 1977.-359 с.
- 17.Духин С.С. Электропроводящие и электрокинетические свойства дисперсных систем. -Киев.: Наукова Думка. -1975. -246с.
- 18.Хатиашвили Н.Г. Об электромагнитном эффекте при трещинообразовании в щелочно-галоидных кристаллах и горных породах. Изв. АН СССР. Физика Земли. -1984. -№9. -С. 13-19.
- 19.Хатиашвили Н.Г. Электромагнитное излучение ионных кристаллов, стимулированное акустической волной. Письма в ДТФ.1981. -Т.7, -вып.18. -С.1128-1132.
- 20.Воробьев А.А. К вопросу об инициировании землетрясений под земными грозовыми явлениями. Кн. Электрическая аппаратура и электрическая изоляция. -М.: Энергия, 1970. -С. 494.
- 21.Воробьев А.А. О возможности электрических зарядов в недрах Земли. Геология и Геофизика. -1970. -№ 12. С.3-13.
- 22.Рязанов А.М., Шабельников А.В. Распространение радиоволн в земной коре. Радиотехника и электроника. -1965. -Т. 10, -№ 11. -С.11-19.
- 23.Малышков Ю.П., Джумабаев К.Б., Гордеев В.Ф. и др. Явление модуляции электромагнитного поля Земли механическими напряжениями при подготовке геодинамических событий. -Томск: ТПИ, -1985. 37с. Деп. в ВИНТИ 16.07.85. N 5096-85.
- 24.Садовский М.А. Научно-организационные задачи прогнозирования времени землетрясений. Кн. Проблемы геофизики Средней Азии и Казахстана. -М.: Наука, -1967. -С. 23-29.
- 25.Нерсесов И.Л. Об организации работ по прогнозу землетрясений и сейсморайонирования в зонах строительства гидротехнических сооружений Средней Азии. Кн. Проблемы геофизики Средней Азии и Казахстана. -М.: Наука, -1967. -С. 30-35.
- 26.Программа работ по поиску предвестников землетрясений. -М.: ИФЗ АН СССР, -1971. -40с.
- 27.Воробьев А.А., Самохвалов М.А., Ибрагимов Р.П., Усманов М.Т. Поиск эффектов, обусловленных существованием в литосфере локальных высоких электрических полей. Сб. Сейсмология Узбекистана. -Ташкент: Изд. ФАН, 175. -С.213-221.
- 28.Электрические и магнитные предвестники землетрясений. Ред. д.ф.-м.н. В.П.Головков. Ташкент: Изд. ФАН, 1983. 135с.

29. Кочербаев Т.К., Токтосопиев А.М. Изменения естественного импульсного электромагнитного излучения перед Жаланаш-Тюпским землетрясением 1978г. Пржевальский пед. ин-т:1982.10с. Деп. в ВИНТИ № 4706-82.
30. Гохберг М.Б. и др. О высокочастотном электромагнитном излучении при сейсмической активности. -ДАН СССР, 1979. -Т 248. -№5. -С.1077-1081.
31. Садовский М.А., Соболев Г.А., Мигунов Н.И. Изменение естественного излучения радиоволн при сильном землетрясении в Карпатах. -ДАН СССР, -1979. -Т.244. -№2. -С. 316-319.
32. Основы прогноза землетрясений. Отв. ред. М.А.Садовский. Прогноз землетрясения. -Душанбе: Дониш, -1983-84. -№3. -220с.
33. Альперт Я.Л., Боролина С.В. Исследование распространения длинных и сверхдлинных радиоволн методом анализа форм атмосфериков. - Радиотехника и электротехника, -1965, -Т.1. -№3. -С.293-307.
34. Кашпровский В.Е. Определение местоположения гроз радиотехническими методами.- М.:Наука, -1966, -С.248.
35. Кашпровский В.Е. Некоторые свойства первичных электромагнитных возмущений, вызванных разрядами молний. -Электросвязь, -1958, -№7. -С.45-50.
36. Кашпровский В.Е., Кубузов Ф.А. Неоднородности рельефа почв и их влияние на распространение поверхностных волн.- Геомагнетизм и аэрномия, -1963, -Т.3, -№3. -С.525-536.
37. Кашпровский В.Е. Грозы как источник волн сверхнизких частот в геологоразведке. -В кн.: Теория и элементы систем отбора геофизической информации. - Киев, -1965. -С.138-164.
38. Кашпровский В.Е., Кубузов Ф.А. Распространение средних радиоволн земным лучом. - М.: Связь, -1971, -С.100.
39. Альперт Я.Л., Гусева Э.Г., Флигель Д.С. Распространение низкочастотных волн в волноводе Земля-ионосфера. - М.: Наука, -1967. -С.123.
40. Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. -М.: Наука, -1972. -С.563.
41. Арабаджи В.И. Гроза и грозовые процессы.- Минск: БГУ, -1960. -С.75-80.
42. Иньков В.К. Результаты регистрации форм ближних атмосфериков. - Труды ГГО, -1965, -вып.1, -С.117.

- 43.Иньков В.К. Некоторые особенности форм дальних атмосфериков. Там же, -С.80-84.
- 44.Иньков В.К., Махоткин Л.Г. Широтные особенности грозовой деятельности. -Труды ГГО, 1981, вып.442, С. 34-38.
- 45.Клейменова З.П. О соответствии между глобальными и локальными характеристиками гроз. - Труды ГГО, -1968, -вып,225. -С. 50-54.
- 46.Тверский П.Н. Атмосферное электричество. -Л.: Гидрометеиздат, -1949, -С. 252.
- 47.Лободин Т.В. Распределение суммарного числа разрядов на земном шаре: Атмосферное электричество. - Труды ГГО, 1981, -вып.442. -С. 44-46.
- 48.Лободин Т.В. Продолжительность гроз на земном шаре. - Там же. -С. 30-43.
- 49.Потапов А.В. Спектральные характеристики дальних атмосфериков. - В кн.: Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ. - М.: Наука, 1972, С. 88-101.
- 50.Федотов С.А., Соболев Г.А. и др. Долгосрочный и пробный прогноз краткосрочный Камчатских землетрясений. - В кн.: Поиски предвестников землетрясений. -Ташкент: ФАН УЗССР, 1976, С.49-62.
- 51.Бутаков В.Ф., Воробьев А.А., Ганькина Л.Н., Иванов В.В., Олейникова Т.Н. Исследование некоторых закономерностей вариации ИЭМП на сейсмостанции "Карымская" на Камчатке и сравнение с вариациями ИЭМП в других сейсмических районах. - Томск, -1979. -С. 121 - Рук. деп. в ВИНТИ 14 августа 1979г. N 3062 - 79.
- 52.Воробьев А.А. Накопление нарушений, повреждение структуры, нарушение минералов в горных породах. - Томск, Изд-во ТГУ, -1973. -С.574.
- 53.Воробьев А.А. Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. 4.1. - Томск, Изд-во ТГУ, -1974, -С. 270.
- 54.Воробьев А.А. Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. 4.2. - Томск, Изд-во ТГУ, -1974. -С. 227.
- 55.Воробьев А.А. Физические условия залегания и свойства глубинного вещества. (Высокие электрические поля в земных недрах.) -Томск: ТГУ, -1975. -С. 296.
- 56.Воробьев А.А., Заводская Е.К., Сальников В.Н. Изменение электропроводности и радиоизлучение горных пород и минералов

- при физико-химических процессах в них. - ДАН СССР, -1975, т.220, -№. 1. -С. 82-85.
- 57.Воробьев А.А., Самохвалов М.А., Горелкин А.Ф., Ибрагимов Р.Н., Усманова М.Т., Ходжаев А.Н. Аномальные изменения интенсивности естественного импульсного электромагнитного поля в районе Ташкента перед землетрясениями. -Узбекский геол. журн., 1976, -№ 2. - С.7, 9-11.
- 58.Воробьев А.А., Бутаков В.Ф., Ганкина Л.А. Аномалии в вариациях импульсного электромагнитного поля Земли в районе вулкана Карымского. -Геология и геофизика, 1978, N 1, С. 115 - 116.
- 59.Воробьев А.А. Прогнозирование момента землетрясения по изучению параметров БИЭМП. - Томск, -1976. -С. 28. -Вып. деп. в ВИНТИ, 17 мая 1979г, -№ 1779-79.
- 60.Воробьев А.А., Самохвалов М.А., Малышков Ю.П., Токтосопиев А.М., Джумабаев К.Б. Регистрация пространственных изменений естественного импульсного электромагнитного поля. -Томск, -1981, С. 13. -Рук., деп. в ВИНТИ, 2 - января 1981г., -№ 497-81.
- 61.Абдуллабеков К.Н., Воробьев А.А., Гохберг М.Б. и др. Полевые наблюдения возмущение электромагнитного поля Земли. - Препринт ИФЗ АН СССР, -1980, -№ 8, С. 18.
- 62.Мавлянов Г.А., Уломов В.И., Абдуллабеков К.Н., Хусамиддинов С.С. Исследование вариаций параметров естественных электромагнитных полей в целях прогноза землетрясений. - Узб.геол. журн, -1979, -№ 5, -С. 11-15.
- 63.Мавлянов Г.А. и др. Аномальные вариации геомагнитного поля в Восточной Фергане - предвестник Алайского землетрясения 2 ноября 1978 года. - ДАН СССР, -1979, -С. 246, № 2.
- 64.Хусамиддинов С.С. Изучение импульсного электромагнитного поля Земли и свойств ионосферы в связи с сейсмичностью: Автореферат дис. канд. физ.-мат. наук - Ташкент, ин-т сейсмологии АН УзССР, -1981, -с.21.
- 65.Хусамиддинов С.С. Исследование возмущений электромагнитного поля Земли, сопутствующих землетрясениям. -В кн.: Электрические и магнитные предвестники землетрясений. -Ташкент: ФАН Уз ССР, -1983, -С. 56-62.
- 66.Хусамиддинов С.С. Эффекты воздействия на ионосферу естественных электромагнитных излучений, обусловленных сейсמודинамикой. -Докл. АН.УзССР, -1984, -№ 6, -С. 48-49.

- 67.Хусамиддинов С.С., Абдуллабеков К.Н. Результаты изучения вариации параметров БИЭМП во времени. -В кн.:Электрические и магнитные предвестники землетрясений. - Ташкент: ФАН УзССР, -1983, -С. 56-62.
- 68.Корнейчиков В.П. Исследование механизма формирования электромагнитного излучения горных пород в связи с прогнозированием землетрясений. Дисс. канд.физ - мат.наук. - Алма-Ата: Ин-т сейсмологии АН Каз ССР, -1984, -С. 183.
- 69.Зилпимиани Д.О. Исследование электромагнитных и акустических процессов при землетрясениях и трещинообразовании. - Автореферат дисс. канд.физ - мат.наук. - Тбилиси,1986,С.23.
- 70.Хатиашвили Н.Г., Гогошидзе Д.А., Зилпимиани Д.О. Об электромагнитном излучении при подготовке землетрясений и горных ударов в шахтах Ткибули. - Сообщения АН Груз ССР, - 1983, -т.110, -№ 2. -С. 305-308.
- 71.Мигунов Н.И., Соболев Г.А., Хромов А.А. Естественное электромагнитное излучение в сейсмоактивных районах. - Изв. АН СССР, Физики Земли, -1984, -№ 7. -С. 55-63.
- 72.Мигунов Н.И., Соболев Г.А., Хромов А.А. Естественное электромагнитное излучение и сильные землетрясения на Камчатке. Вулканология и сейсмология, -1983, -№4. -С.93-99.
- 73.Садовский М.А., Соболев Г.А., Мигунов Н.И. Изменения естественного излучения радиоволн при сильном землетрясении в Карпатах.-ДАН СССР, -1979, -т.224, -№2, -С.316-319.
- 74.Гохберг М.Б., Ешина Т., Мигунов Н.И., Огатова Т. Результаты регистрации оперативного электромагнитного предвестника землетрясений в Японии. - Изв.АН СССР, Физика Земли, -1982, -№2, -С.85-87.
- 75.Oike K.,Ogawa T. Electromagnetic Radiations, from shallow earthquakes. Observiel in the LF Pauge.J.Geom. and geoelect. (J.6G). 1986, v.38, - №10.pp.1031-1040.
- 76.Yoshino T., Tomizawa J., Shibata T. The possibility of using a direction finding technique to lokate earthquake epicenters from electromagnetic precyrsor radiation. Annales Geophysical, -1985, -v.3, -№6. -pp.727-730.
- 77.Lin,Mei,Li Ka ifu Electromagnetic wave anomalies of impending earthquakes. J.Seismol.Res. -1985, -v.8, -T5, -pp.568-573.
- 78.Moa Pusen. On electromagnetic wave signals, receined before some stroud earthquakes. Asta siecmol.sin. -1986, -v.8, -№1, -pp.105-111.

79. Warwick J.W., Stoker C., Meyer T.R. Radio emissions associated with rock fracture possible application to the great chilean earthquake of May 22,1960. Journal of Geophysical Research. -1982, -v.87, -№4, -pp.2851-2859.
80. Parrot M., Lefeuvre F., Corcuff Y., Godefroy P. Observations of VLE emission at the time of earthquakes in the Kerquelen I Stands. Annales Geophysical, 1985, v. 3, 6, pp. 731-736.
81. Левшенко В.Т. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы литосферного происхождения. Автореферат дисс. на соис. уч. степ. д.ф.-м.н. -Москва, -1995, -36с.
82. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. -Л.: Гидрометеиздат, -1949, -155с.
83. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, -1949, 252.
84. Имянитов И.М., Чубарина Е.В. Электричество свободной атмосферы. -Л.: Гидрометеиздат, -1965, -239с.
85. Имянитов И.М., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электричество облаков. -Л.: Гидрометеиздат, -1971. -91с.
86. Красногроская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. -Л.: Гидрометеиздат, -1972. -323с.
87. Морозов В.Н. Модели глобальной атмосферно-электрической цепи // Гидрометеорология. Метеорология: Обзорная информация. -Обнинск: ВНИГМИ МЦД, -1981. -Вып.8. -С. 1-57.
88. Чалмерс Дж.А. Атмосферное электричество. -Л.: Гидрометеиздат, -1974. -420с.
89. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии: Физика атмосферы. -Л.: Гидрометеиздат, -1984. -751с.
90. Israel H. Atmospheric electricity. Jerusalem: Isr. Progr. Sci. Transl., -1973. -Vol.1. -179р.
91. Лободин Т.В. Результаты атмосферно электрических измерений над океанами и в Антарктиде // Метеорологические исследования: Метеорология. -1968. -№ 5, -С. 89-99.
92. Ogawa T., Tanaka Y. Land effect on the stratospheric vertical electric field // J.Atmos and Terr. Phys. 1976. -vol.38. -p.599-604.
93. Имянитов И.М., Пономарев Ю.В., Чубарина Е.В. Сравнительные атмосферно-электрические измерения в свободной атмосфере над Арктики. -Л.: Гидрометеиздат, -1972. -С.75.

94. Кочеев А.А., Смирных Л.Н., Тютин А.А. Прямые одновременные измерения концентрации ионов, электрической проводимости и вертикальной составляющей напряженности электрического поля атмосферы на высотах 0-85 км // Космич. исслед. -1976. -Т.14, -вып.1. -С.148-151.
95. Manyard N.C. Grockey C.L., Mitchell J.D., Hale L.C. Measurement of voltmeter vertical electric fields in the middle atmosphere // Geophys. Res. Lett. 1981. -Vol. 8. -P. 923-926.
96. Парамонов Н.А. О годовом ходе градиента атмосферного электрического потенциала // ДАН СССР. 1950. Т.71, N 1. С. 120-136.
97. Франк-Каменецкий А.В. Некоторые характеристики вариации вертикальной компоненты атмосферного электрического поля по данным ст. Восток // Атмосферное электричество и магнитные возмущения. -М.: ИЗМИРАН, -1983. -С. 91-97.
98. Angelo D., Iversen I.B., Madsen M.M. Influence of dawn-dusk potential drop across the polar cap on the high-latitude atmospheric vertical current // Geophys. Res. Lett. 1982. -Vol. 9. -P.773-776.
99. Изергин А.М. Конвективный электрический ток атмосфера - Земля // Изв. АН СССР. -Геофизика. -1959. -№ 6. -С. 919-923.
100. Kraakebik J.N. Measurements of current density in the fair weather atmosphere // J. Geophys. Res. -1961. -Vol. 66. -P. 3735-3748.
101. Максон Р. Атмосферное электричество и проблема связи между солнечной активностью и погодой // Солнечно-земные связи, погода и климат. -М.: Мир, 1982. -С. 242-264.
102. Бутырский Г.А. Исследования вертикального конвективного тока на Земле в переходный период // Атмосферное электричество: Тр. II Всесоюз. симпоз. (Ленинград, октябрь 1982г.). -Л.: Гидрометеиздат, -1984. -С. 23-25.
103. Markson R. Ionospheric potential variations obtained from aircraft measurements of potential gradient // Geophys. Res. -1976. -Vol. 8. -P. 1080-1090.
104. Чернявский Е.А. Электрическая буря // Бюл. САГУ, -1925, -№ 10, -С. 157-166.
105. Алимова В.А., Зубков С.И. Каталог предвестников землетрясений. Гидрогеодинамические предвестники. -М.:АН СССР Ин-т физики Земли. -1983, 140.

106. Церфас К.Э. Явление атмосферного электричества, предшествующие землетрясениям // Ташкентское землетрясение 26.04. 1966г. -Ташкент, ФАН, -1971, -С.184-186.
107. Тихоноров А.Н., Иванов А.Г. Троицкая В.А., Дьяконов Б.П. К вопросу о связи земных токов и землетрясений // Труды геофизического института АН СССР, -1954, -№ 25 (152). - С. 206-207.
108. Milne J. Earthquakes in connection with electric and magnetic phenomena // Trans.Seismol. Sos. Sap. -1980. -Vol.15. -Р. 135-162.
109. Бончковский Б.Ф. Изменения градиента электрического потенциала атмосферы как один из возможных предвестников землетрясений. //Труды Геофизического Института АН СССР, -1954, -№ 25 (152). -С. 192 - 206.
110. Гуфельд И.Л., Шулейкин В.И. Вариации атмосферного тока в период подготовки землетрясений //Изв. АН СССР. -Физика Земли, -1988, - № 2, С. 81-84.
111. Анисимов С.В., Гохберг М.Б., Иванов Е.А. Краткопериодные колебания электромагнитного поля Земли при промышленном взрыве. Докл. АН СССР, -1985, -Т. 281, -№ 3. -С. 556-559.
112. Моргунов В.А. Натурные исследования электромагнитных процессов завершающей стадии подготовки землетрясения. Автореф. докт.дисс. 04.00.22. ИФЗ РАН. -М., 1993. -С. 38.
113. Хусамиддинов С.С. Закономерности аномальных вариаций геофизических полей в сейсмоактивных зонах Узбекистана. Автореф. докт.дисс. 04.00.22., ИС АН Уз ССР. -С.46.
114. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. -М.: Мир, -1979, -С. 388.
115. Yasui V. Astuoly on the lumenous phenomena Acompanies with Earthquake // Menoirs of the Kokioko Magu. Observ.1968. -Vol. 13. -№ 1. -Р. 25-61.
116. Насыров Г.А. О связи эмиссии ночного неба с сейсмической активностью // Изв. АН ТССР, -1978, -№ 2. -С. 119-122.
117. Пархоменко Е.И., Мартышев Ю.Н. Явления электризации и свечения минералов в процессе деформации и разрушения. В кн.:Физика очага землетрясения. -М.: Наука, -1975. -С. 151.
118. Bolt B.A. Seismic air waves from the great 1964 Alaskan earthquake. - Nature, -1964. -V.202, -Р. 1095-1096.

119. Dohn B.L., Posmetier E.S. Ground-coupled air waves from the great Alaskan earthquake. - J.Geophys.Res., -1964. -V.69, -№ 2, -P. 5357-5361.
120. Moore G.W. Magnetic Disturbances proceeding the 1964 Alaska Earthquake. - Nature, -1964, -V. 203, -№ 4944, -P.508-512.
121. Гольцин Г.С., Кляцкин В.И. Колебания в атмосфере, вызываемые движением земной поверхности. - Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, -1965, -Т.3, -№8. -С.1044-1052.
122. Davies K., Baker D.M. Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28 1964. - J. Geophys. Res., -1965, -V. 70, -№9, -P. 2251-2253.
123. Leonard R.S., Barnes R.A. Observation of ionospheric disturbances following the Alaska earthquake. - J.Geophys. Res., -1965, -V.70, -№5, -P. 1250-1253.
124. Barry G.H.,Griffiths L.J.,Taenzer J.C.Hf radio measurements of high-altitude acoustic waves from a ground-level explosion. - J.Geophys.Res., -1966, -V 71, -P.4173-4182.
125. Rom R.V. Evidence of long-period acoustic-gravity waves launched into the F - region by the Alaskan earthquake of March 28.1964. - J.Geophys.Res., -1966, -V 71, -P.342-345.
126. Fehr V. Measurements of infrasound from artificial and natural sources. - J. Geophys.Res., -1967, -V. 72, -№9, -P.2403 - 2417.
127. Hirshberg J.R., Currie G., Breiner S. Long period geomagnetic fluctuations after the 1964 Alaskan earthquake. - Earth Planet. Sci. Lett., -1976 -V 3. -P.426-428.
128. Rai D.V., Kisabeth G.L. Ionospheric irregularities caused by acoustic waves. - Nature, -1967, -V 216, -№5115, -P.568-569.
129. Georges T.M. Doppler studies of traveling ionospheric disturbances. - J.Atmos.Terrest.Phys., -1968, -V.30, -P.735-746.
130. Yuen P.C., Weaver P.F., Suzuki R.K., Furumoto A.S. Continuous traveling coupling between seismic waves and the ionosphere evident in May 1868 Japanearthquake data. -J.Geophys.Res., -1969, -V.74, -N9, -P.2256-2264.
131. Романов Н.Н. О вертикальном распространении коротких акустических волн в реальной атмосфере. - Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, -1970, -Т.6, -№2, -С. 134-145.

132. Waver P.F., Yuen P.C., Prolss G.W., Furumoto A.S. Acoustic coupling into the ionosphere from seismic of the earthquake of Kirile islands on August 11, 1969. - Nature, -1970, -V.226, -№5252, -P.1239-1241.
133. Baker D.M., Cotten D.E. Interpretation of high-frequency Doppler observations of waves from nuclear and natural sources. - J.Geophys. Res., -1971, -V.76, -№7, -P. 1803-1810.
134. Najita K., Weaver P.F., Yuen P.C. A Tsunami Warning System using on ionospheric Technique. - IEEE Proceedings, -1974, -v.62, -№5, -p.23-27.
135. Госсард Э.Э., Хук У.Х. Волны в атмосфере. -М.:Мир, -1978, -523с.
136. Najita K., Yuen P.C. Infrasonic and Rayleigh waves. -J. Geophys.Res, - 1979, -V.84, -№A4, -p.1253-1263.
137. Таранцев А.В., Бирфельд Я.Г. Явление воздействия сейсмичности Земли через акустические волны на ионосферу. -Сб. кратких описаний открытий, ЦНИИПИ, открытие -№128, -1973.
138. Белов С.В., Мигунов Н.И., Соболев Г.А. Магнитные эффекты, сопровождающие сильные землетрясения на Камчатке. -Геомат. и аэрономия, -1974, -Т.14, -№2, -С. 380-383.
139. Бирфельд Я.Г. Об ионосферно-сейсмической связи и возможности использования ее для ионосферного прогнозирования. -В кн.: Поиски предвестников землетрясений на прогностических полигонах. -М.: Наука, -1974, -С. 200-202.
140. Гохберг М.Б., Пиличенко В.А., Похотелов. Наблюдение на спутнике электромагнитного излучения над эпицентральной областью готовящегося землетрясения. -ДАН СССР, -1983, -т.268, -№1, -С.54-56.
141. Мигулин В.В., Ларкина В.И., Молчанов О.А. и др. Обнаружение эффектов воздействия землетрясений на ОНЧ-КНЧ-шумы во внешней ионосфере. -Препринт ИЗМИРАН, 1982, N25 (390), 28с.
142. Ларкина В.И., Наливайко А.В., Гершензон Н.И., Гохберг М.Б., Липеровский В.А., Шалимов С.А. Наблюдения на спутнике "Интеркосмос-19" ОНЧ-излучений, связанных с сейсмической активностью. -Геомагнетизм и аэрономия, -1983, -т.23, -№5, -С.842-846.
143. Parrot M., Lefeuvre F. Correlation between GEOS VLE emissions and earthquakes. Annales Gophysical, -1985, -v.3,6, -pp. 737-748.
144. Matthews J.P., Lebreton J.P. Asearch for seismic related wave activity in the micropulsation and ULE frequency ranges using Geos-2 data. Annales Goephysical, -1985, -v.3,6, -pp. 749-754.

145. Датченко Э.А., Уломов В.И., Чернышева С.П. Аномалии электронной плотности ионосферы как возможный предвестник Ташкентского землетрясения // Доклад АН Уз ССР, -1972. -№ 12. -С48-52.
146. Анцилевич М.Г. Влияние Ташкентского землетрясения на магнитное поле Земли и ионосферу. В кн.: Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966г, -Ташкент: ФАН., -1971, - с.187-191.
147. Хусамиддинов С.С. Изучение импульсного электромагнитного поля Земли и свойств ионосферы в связи с сейсмичностью: Автореферат дис. канд. физ.-мат. наук - Ташкент, ин-т сейсмологии АН УзССР, - 1981, -с.21.
148. Гохберг М.Б. Гершензон Н.И., Гуфельд И.Л. и др. О возможных эффектах воздействия электрических полей сейсмического происхождения на ионосферу. -Геоман. и аэрономия, -1984, -Т.24, -№2, -с.217-222.
149. Хусамиддинов С.С. Ионосферные эффекты. //Электромагнитные предвестники землетрясений. -М.: Наука, -1982. -С. 28-31.
150. Хусамиддинов С.С. Возмущения в ионосфере, возбуждаемые сейсмическими источниками //Электрические и магнитные предвестники землетрясений. -Ташкент: ФАН., -1983, -с.103 - 112.
151. Дробжев В.И., Идрисов И.К., Казаков В.В. и др. Отклик ионосферы на возмущения, инициируемые источниками естественного и искусственного происхождения. Тезисы докладов. XV Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. -М.: Наука, -1987, - с.14.
152. Муханов М.Б. Ионосферные эффекты землетрясений, установленные доплеровскими измерениями. -Автореферат дисс.канд.физ.-мат. - Ашхабат, -1990, -с.15.
153. Липеровская Е.В., Похотелов О.А., Сайдмиев А., Алимова О.А, Павлова С.С., Хакимова М. Некоторые эффекты в спорадическом слое Е ионосферы перед землетрясениями //Изв. РАН. Физика Земли.1992., №12, с.12-18.
154. Липеровская Е.В., Липеровский В.А., Похотелов О.А., и др. Закономерности проявления некоторых сейсмоионосферных эффектов //Доклад РАН.1992, т.330, с.372-375.
155. Гохберг М.Б., Гуфельд И.Л., Маренко В.Ф. и др. Исследования возмущений естественных и искусственных электромагнитных полей

- источниками сейсмического происхождения. - Изв. АН СССР, Физика Земли, 1987, N 2, с.17-24.
156. Гуфельд И.Л., Рожной А.А., Тюменцев С.И. Возмущения радиоволновых полей перед Рудбарским и Рачинским землетрясениями // Изв.АН СССР. Физика Земли. -1992, -№1, -с.102-107.
157. Гуфельд И.Л. Радиоволновые предвестники коровых землетрясений. Дисс. д.ф.-м..н. -М., 1995, -221с.
158. Гохберг М.Б., Липеровская Р.Х., Липеровский В.А., Харин Е.П. ОБ особенностях поведения ночной F-области в период подготовки сильных землетрясений. -М., -1984, -14с. (Препр./ИФЗ АН СССР, №2.).
159. Гохберг М.Б., Кустов А.В., Липеровский В.А., и др. Ионосферные эффекты процессов подготовки сильных землетрясений. -М., -1985, -26с. (Препр./ИФЗ АН СССР, №2.).
160. Гохберг М.Б., Кустов А.В., Липеровский В.А., и др. О возмущения в F-области ионосферы перед сильными землетрясениями //Изв. АН СССР. Физика Земли, -1988, -№4, -с12-20.
161. Зеленова Т.И., Легенька А.Д., Фаткуллин М.Н. Региональные эффекты в области F, предшествующие литосферному Газлийскому землетрясению. - Препринт ИЗМИРАН, М., -1987, -№ 57(746), - 16с.
162. Fatkullin M.N., Zelenova T.I., Legenka A.D. On the ionospheric effects of astenospheric earthquakes. - Phys. Earth. Planet. Interiors, -1989, -V.57, - № 1-2, 82-85.
163. Хусамиддинов С.С., Умарова М.Ф., и др. Этапы предвестниковых аномалий геофизических полей Кайраккумского землетрясения 13 октября 1985г. //Доклад АН Уз ССР. --1989, -№9, -с.48-51.
164. Хусамиддинов С.С. Закономерности аномальных вариаций геофизических полей в сейсмоактивных зонах Узбекистана. Автореф. докт.дисс., ф.-м.н., -Ташкент, -1990, -С.432.
165. Liperovsky V.A., Alimov O.A., Liperovskaya E.V., Pavlova S.S., Pochotelov O.A., Roubtsov L.M., Ionosheric effects of Kayraccum earthquake // Phys.Earth and Planet, Inter, -1992, -vol.59, -p.105-111.
166. Копытенко Ю.А., Матиашвили Т.Г., Воропаев П.М., и др. Обнаружение ультранизкочастотных излучений, связанных со Спитакским землетрясением и его афтершоковой активностью, по данным наблюдений геомагнитных пульсаций на обсерваториях Душети и Вардзия.М.,1990.,25с. (Препринт ИЗМИРАН, -№3, (888)).

167. Шарадзе З.С., Джапаридзе Г.А., и др. Спитакское землетрясение и связанные с ним возмущения в ионосфере и магнитном поле // Изв. АН СССР. Физика Земли, -1991, -№11, -С.112-122.
168. Макаренко В.Ф. Исследование связи сейсмотектонических процессов с возмущениями нижней ионосферы методом радиопросвечивания на сверхдлинных волнах.
169. Воинов В.В., Гуфельд И.Л., Круглинов В.В. и др. Эффекты в ионосфере и в атмосфере перед Спитакским землетрясением 7 декабря 1988г. // Изв. РАН СССР. -Физика Земли, -1992, -№1, -с.96-101.
170. Фаткулин М.Н., Зеленова Т.И., Мигулин В.В., и др. Предварительные результаты исследований предвестников Спитакского землетрясения в области F2 ионосферы по данным наземного вертикального зондирования. -М., -1990, -15с. (Препринт ИЗМИРАН. №18 (903)).
171. Бахметьев П. Земные электрические токи. Журн. Русск. физ.-хим. об-ва, т.26, часть физическая, отд. 1, -Спб, -1894, -с.31-76, 159-199.
172. Бухникашвили А.В. Земные токи и их изучение. Тр.Ин-та Геофизики АН Груз.ССР, -т.14, -1955, -с 52-65.
173. Lamont J. Der Erdstrom und der Zusammenhang desselben mit dem Magnetismus der Erde. Leipzig, Voss, -1862.
174. Орлов А.П. Землетрясения и природа. Казань, -1888, -с.57.
175. Shiratori K. Notes on the destructive earthquake in Sagami Bay on the First of September, 1933, Jap. J. Astron. Geophys., -v. II, 14, -1925, -h. 174-192.
176. Noto H. Some experiments on earth current (II). Jap. J. Astron. Geophys. -v. X, 2, 1933, -p. 263-303.
177. Rikitake T. et al. Geomagnetic and geoelectric studies of the Matsushiro earthquake swarm, (1), Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. -Tokyo, 44, -1966, -p. 399-402.
178. Nakayama T., Shimonata I. and Earth Sc. Club of Yoshiki H. Sch. Observations of earth current at the Azotsugawa Fault in the Mothern Hida region. Earth Science, v.34, 5 (170), -1980, -p. 258-265.
179. Noritomi K. Geoelectric and geomagnetic observations and phenomena associated with earthquake in China. Proc. on the Chinese earthquake prediction by the 1977 delegation of the Seismol. Soc. of Japan. Seismol. Soc. Jap. -Tokyo, -1978, -p. 57-87.
180. Соболев Г.А., Морозов В.Н. Локальные возмущения электрического поля на Камчатке и их связь с землетрясениями. В кн. "Физические

- обоснования поисков методов прогноза землетрясений”. -М.: Наука, -1970, -С. 110-121.
181. Соболев Г.А., Морозов В.Н. Поиск предвестников землетрясений в электротеллурическом поле //Сейсмичность и сейсмический прогноз, Свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. -Новосибирск, -1974. -С. 141-151.
 182. Соболев Г.А., Морозов В.Н., Мигунов Н.И. Электротеллурическое поле и сильное землетрясение на Камчатке. Изв.АН СССР. Физика Земли, -№2, -1972, -с. 67-73.
 183. Соболев Г.А., Демин В.М. Механоэлектрические явления в Земле. -М., Наука, -1980, -с.215.
 184. Морозов В.Н. Исследование электротеллурического поля в районе восточного побережья Камчатки в сопоставлении с сейсмической активностью на основе анализа электрических свойств горных пород. Автореф. дисс. к.ф.-м.н. -М, ИФЗ АН СССР, -1970. -С. 18.
 185. Varotsos P., Alexopolos K. Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes. - Tectonophysics, -1984, -V.110, -p.73-125.
 186. Varotsos P., Alexopolos K., Nomicos K. Electrotelluric precursors to earthquakes. Prakt.Akad.Athenon, -1982, -57, -p.311-363.
 187. Muller E.K. Electro-tellurische Erscheinungen. Gerl.Beitr.zur Geoph, -1935. -b.44, -p. 56.
 188. Уломов В.И. Внимание! Землетрясение! -Ташкент: Узбекистон, -1971, -160с.
 189. Курскеев А.К., Белослюдцев О.М. Вариации электротеллурического поля в Кунгей-Заилийской сейсмогенной мегазоне и их связь с землетрясениями // Прогноз землетрясений. -М.: Душанбе, -1986, -№ 7. -С. 129-138.
 190. Varatsos P., Alexopoulosk., Noticos. Electrotellurie precuzsors to carthguakes // Prakt. Akad. Athenon. -1982, -№ 57. -P. 341-363.
 191. Ралчовский Ц.М., Комаров Л.Н. Об электромагнитном предвестником землетрясение во Вранче. 30 УИИ. 1986 // Изв. АН СССР. Физика Земли 1988, -№ 11, -С. 72-76.
 192. Авагимов А.А., Жуков В.С., Логутинская Л.Н., Милькис М.Р.Связь электротеллурических потенциалов с движением подземных вод. Прогноз землетрясений, N 7. изд. "Дониш". -Душанбе-Москва, -1986, -С. 169-175.

193. Жуков В.С. Вариации электротеллурического поля в сопоставлении с сейсмичностью. Там же. -С. 175-180.
194. Авагимов А.А. Динамика электромагнитных процессов в Копетдагском сейсмоактивном регионе. Автореф. докт. дисс. 04.00.22. -Москва, -1991, -44с.
195. Огонесян Г.М., Киракосян Х.В. Некоторые аномальные измерения Т и ЭТП в связи с сейсмическими событиями на территории АРМ СССР. Там же. -с. 211-215.
196. Сидорин А.Я. Предвестники землетрясений. -М.: Наука, -1992, -192с.
197. Электромагнитные предвестники землетрясений. Под. ред.акад. Садовского. - М.: Наука, -1982. -С. 88.
198. Кунин Н.Я., Харыбин Е.В. Биологические предвестники землетрясений и целесообразность их изучения при прогнозе землетрясений в СССР. -М., СССР, -1979, -С.26.
199. Асабаев Ч.А., Холодов Ю.Н. Поиски биологических индикаторов предвестников землетрясений //Тезисы докладов международного симпозиума по поискам предвестников землетрясений. -Ташкент, -1974. -С. 6.
200. Исибаси Т., Матсуда Т., Асада Т. и др. Методы прогноза землетрясений. Их применения в Японии. -М.: Недра, -1984, -С.310.
201. Нерсесов И.Л., Пратасов Е.Р. Опыт исследования слабоэлектрических рост при поиске предвестников землетрясений //Известия АН СССР, Физика Земли, -1988, -№ 9. -С. 93-100.
202. Султанходжаев А.Н., Сухов Р.Р., Шерматов М.Ш. На пути поиска биологических предвестников Назарбекского землетрясения.11.12.1980 // Узбекский геолог. 1982, -N 4. -С.37-40.
203. Мариковский П.И. Животные предсказывают землетрясение. -Алма-Ата, Изд. Кайнар, ПК, Экспресс-печать. -С.15.
204. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шалина О.Г. Лабораторные и теоретические исследования процессов подготовки землетрясений. Изв. АН СССР. Серия Физика Земли. -1974, -№10.
205. Мячкин В.И. Процессы подготовки землетрясений. -М., Наука, -1978, -232с.
206. Мячкин В.И. Физические основы прогноза землетрясений. Земля и Вселенная, -1978, -№6, -с.15.
207. Sholz C.H., Sykes L.R., Aggrawal Y.P. Earthquake prediction: a physical basis. - Science, -1973. -vol 181, -№102, -p.803-809.

208. Anderson D.I., Whitcomb J.H., The dilatancydiffusion model earthquake prediction. - In: Proc. Conf. Of tectonic problems of the San Andreas Fault System: Stanf. Univ.Publ., -1973, -vol 13, -p.417.
209. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. -М.: ИФЗ. АН СССР, -1984, -188с.
210. Добровольский И.П. Тектоника подготовки тектонического землетрясения. -М.: ИФЗ.АН СССР, -1991, -219с.
211. Гохберг М.Б., Гуфельд И.А., Добровольский И.П. Источники электромагнитных предвестников землетрясений. - Доклады АН СССР, -1980, -Т.250, -№2, -с.323-326.
212. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Герасимович Е.А., Матвеев И.В.Оперативные электромагнитные предвестники землетрясений. - М.: Наука, -1985, с. 116.
213. Гохберг М.Б., Гуфельд И.Л., Гершензон Н.И., Пилипенко В.А. Электромагнитные эффекты при разрушении земной коры. - Изв. АН СССР. Физика Земли, -1985, -№1, -с.72-87.
214. Гохберг М.Б., Пилипенко В.А., Похотелов О.А. О сейсмических предвестниках в ионосфере. -Изв. АН СССР.Физика Земли, -1983, -№10, -с.17-21.
215. Гольд Р.М., Марков Г.П., Могила П.Г., Самохвалов М.А. Импульсное электромагнитное излучение минералов и горных пород, подверженных механическому нагружению. - Изв.АН СССР, Физика Земли, -1975, -№ 7, -с.43.
216. Гуфельд И.Л., Гусев Г.А., Матвеева М.И. Современное состояние работ по прогнозу сильнейших землетрясений //Тезисы докл. конференции «Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов». -М., -1997, -с. 31.
217. Гуфельд И.Л. Время землетрясения изменить нельзя //Наука в России. -М., -№5 сентябрь-октябрь 1997. -С.21-25.
218. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. -Фрунзе: Илим, -1986. -312 с.
219. Шульц С.С. Основные геоструктурные области по данным новейшей тектоники СССР. - Сов. Геология, -1962, -№ 5.
220. Резвой Д.П. О тектонической природе западной части Памиро-Гималайско-Куьлуньского неотектонического поднятия. В кн.: Тектоника Памира и Тянь-Шаня. -М.: Наука, 1964.

221. Юдахин Ф.Н. Геофизическая поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1983. 246с.
222. Беляевский Н.А. Земная кора в пределах территории СССР. М.: Недра. 1974. 280с.
223. Джанузаков К.Д. и др. Киргизия. -В кн.: Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978г. М.: Наука, 1980. с. 186-194.
224. Литосфера Тянь-Шаня. Отв. ред. Губин И.Е. М.: Наука, 1986. 156с.
225. Садыбакасов И.С. Неотектоника центральной части Тянь-Шаня. - Фрунзе: Илим, 1972, -с.117.
226. Геология кайназой Чуйской впадины и ее горного обрамления. -Л.:Наука, 1976, -с.128.
227. Юдахин Ф.Н. О соотношении рельефа и глубинного геологического строения в передовых и межгорных впадинах Северного Тянь-Шаня в свете комплексных геофизических исследований (на примере Чуйской и Иссык-Кульской впадин). - В кн.: Структурно-геоморфологические исследования при нефтегазопроисловых работах. -Л., -1969, -156-159 с.
228. Геологические основы сейсмического районирования Иссык-Кульской впадины. -Фрунзе: Илим, -1978, -с 152.
229. Геология СССР; Киргизская ССР, Геологическое описание. -М.: Недра, -1972, кн. 2, -с.314.
230. Абдрахматов К.Е. Тектонические движения позднего плейстоцена-голоцена территории республики Кыргызстан. Автореф. дисс. на соис.уч.ст. д.г-м.н. 1995.с.33.
231. Паталаха Е.И., Чабдаров Н.М. Условие образования рельефа Северного Тянь-Шаня и вероятный механизм процесса.- В кн.: Сейсмостектоника некоторых районов юга СССР. - М.: Наука, -1976, -с.80-90.
232. Трофимов А.К. Новейшая тектоника района Сарыкамышского землетрясения. - Изв. АН Киргизской ССР, -1973, -№ 5, -с. 16-19.
233. Кучай В.И. Результаты повторного обследования остаточных деформаций в плейстосейстовой области Кебинского землетрясения. -Геология и геофизика, -1969, -№8, -с.101-108.
234. Чедия О.К., Трофимов. Новейшая тектоника.- В кн.: Геологические основы сейсмического ориентирования Иссык-Кульской впадины. -Фрунзе: Илим, -1978. -с.66-89

235. Кнауф В.И., Кузнецов М.П., Нурманбетов К.Н., Христов Е.В., Шилов Г.Г. Домезойские структуры и сейсмичность Киргизии. - Фрунзе: Илим, -1981, -с. 74.
236. Шварцман Ю.Г. Результаты геофизических исследований сейсмоактивных зон Северной Киргизии. -В кн.: Геофизические исследования сейсмогенных зон Киргизии. - Фрунзе: Илим, -1983, -с. 76-82.
237. Макаров В.И., Соловьева Л.И. Перекрестный структурный план земной коры и проблемы проявления ее глубинных элементов на поверхности (на примере Тянь-Шаня и Туранской плиты). В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. - Геология и геоморфология. - М.: ВИНТИ, -1976, т.6.
238. Матушкин Б.А. О сейсмогенерирующих структурах Северного Тянь-Шаня. -В кн.: Сейсмическое микрорайонирование и инженерные изыскания в строительстве. - М.: Наука, -1983, -с. 54-61.
239. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. -М.: Наука, 1977.
240. Абдрахматов К.Е. Четвертичная тектоника Чуйской впадины. -Фрунзе, Илим, -1988, -с. 117.
241. Блинов Г.И., Лобанченко А.Н. Плотностной разрез. Вкн.: Современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня. -Москва: Наука, 1991. -с. 29-34.
242. Джанузаков К.Д. и др. Киргизия. В кн.: Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978г. -М.: Наука, 1980. -С. 186-194.
243. Опыт комплексного сейсмического районирование на примере Чуйской впадины. -Фрунзе: Илим, 1975, -с. 189.
244. Юдахин Ф.Н., Кальметьева З.А. и др. Геодинамические условия проявления очагов сильных землетрясений. - В кн.: Современная литосферы Тянь-Шаня. - Москва: Наука, 1991. -с. 164-169.
245. Юдахин Ф.Н., Чедия О.К. и др. Сейсмогенные зоны. Там же -с. 169-178.
246. Чедия О.К. О связи землетрясений с новейшими тектоническими движениями // Геологическое геофизическое изучение сейсмоопасных зон. -Фрунзе: Илим, -1984,- с.63-73
247. Абдрахматов К.Е., Цурков В.Е. Современное движение земной коры и сейсмичность. -Бишкек: Илим, -1992, -с.112.

248. Цурков В.Е. Геофизические данные //Литосфера Тянь-Шаня. -Фрунзе: Илим, 1986. -с.102-106.
249. Соболев Г.А. Основа прогноза землетрясений. -М., Наука, -1993, -с313.
250. Воробьев А.А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах. - Томск, Изд-во ТГУ, -1980, -211 с.
251. Электроимпульсная технология и электромагнитные процессы в нагруженных твердых телах. (Тезисы докл. Всесоюзн. Науч.совещ., Томск, 1982, ТПИ). -193с.
252. Мастов Ш.Р., Гольд Р.М.,Соломатин В.Н., Яворович Л.В. Изучение процессующего разрушения при развитии оползневого процесса методом регистрации электромагнитных сигналов. Инженерная геология, -1984, -№1, -с.68-71.
253. Имянитов И.М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. -Л.:Госиздат, -1958, -345с.
254. Шварц Я.М. Методы и аппаратура для измерения элементов атмосферного электричества. В сб.: Атмосферное электричество. Труды 1 Всесоюзн. симпоз. -Л.: Гидрометеиздат, -1976, -с.59-70.
255. Патент США № 3611127.
256. Пушкин Н.М., Брагин Ю.А. и др. Датчик электрического поля. А.С. СССР №789455,1980, бюлл.№37.
257. Пушкин Н.М., Брагин Ю.А. и др. Датчик электрического поля. А.С. СССР №845119,1981, бюлл.№25.
258. Струминский В.И. Датчик электрического поля. А.С. СССР №830256,1980, бюлл.№18.
259. Тютин А.А., Тучков Г.А. Измеритель напряженности электрического поля. АН СССР №892353,1981, бюлл.№47.
260. Татаринцов С.П. Струнный электростатический флюксметр. В кн.: Вопросы техники высоких напряжений горных линий электропередач. Сб.науч.трудов. ЭНИИ., М.,1984, с.81-88
261. Гершензон Н.,Гохберг М., Добровольский И. Расчет краткосрочных предвестников землетрясений в электротеллурическом поле. Изв. АН СССР, Физика Земли, -№2, -1989, -с.43-58.
262. Андерсен Т. Статический анализ временных рядов. -М.: Мир, -1976, -755с.
263. Блинджер Д. Временные ряды. -М.: Мир, -1980, -с.536.
264. Дженкине Г., Ватте Д. Спектральный анализ и его приложения. -Вып. 1., -М.: Мир, -1971, -315с.

265. Дженкине Г., Ватте Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып. 2., М, Мир, 1972, 280с.
266. Вайну Я.Я. Корреляция рядов в динамике. -М.: Статистика, 1977, -117с.
267. Уломов В.И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений // Сейсмическое исследования в Узбекистане. -Ташкент, -1979, с.50.
268. Уломов В.И. Синтетические прогностические кривые для выявления предвестников землетрясений // Экспериментальная сейсмология в Узбекистане. - Ташкент, ФАН, -1983, -с.87-97.
269. Веденская А.В., Голибаева Н.В. Динамика очага и энергетический баланс волнового поля сильнейших землетрясений мира.// Изв. АН СССР, Физика Земли, -1980, -№8, -с.22-40.
270. Филиппов С.Г. Интерполяция данных между основными сроками наблюдений // Программа для ЭВМ, ОФАН, ВНИГМИ - МПД, Обнинск, 1980.
271. Сидорин А.Я. Зависимость времени предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния. Н. Докл. АН СССР, -т.245, -1979, -№4, -с.825-828.
272. Дорман Л.И., Пименов И.А., Сацук В.В. Математическое обеспечение геофизических закономерностей на примере космических лучей. -М.: Наука, 1978, -150с.
273. Кадыров В.К. Гидрохимия озера Иссык-Куль и его бассейна. -Фрунзе.: Илим, 1986, -с. 200.
274. Яновский Б.М. Земной магнетизм. - Л.: ЛГУ, -1978, -с.590.
275. Добровольский И.П. Об оценке размеров зоны проявления предвестников землетрясений.- В кн.: Моделирование предвестников землетрясений. -М.: Наука, -1980, -с.7-44.
276. Гуфельд И.Л., Никиторова Н.Н., Рожной А.А., Федотов А.Я. Особенности полей СДВ радиостанций в сейсмоактивных районах Средней Азии и Кавказа. В кн. Распространение радиоволн километрового диапазона. Апатиты, -1987, -с.108-110.
277. Маркман В.И., Шесток С.В., Ямпольский В.А. Исследование особенностей суточных вариаций напряженности СДВ поля. В кн.: Распространение километровых и более длинных радиоволн. -Алма-Ата: Наука, -с.64-66.
278. Виленский Д.Г. Почвоведение. -М.: Учпедгиз, -1957, -с.231.

279. Пономарев А.В., Завьялов А.Д. Электрод для измерения естественного электрического поля Земли. Авторское свидетельство СССР, N598008, 21 ноября 1977г.
280. Петровский А.А. Естественное поле, создаваемое рудным телом. Изв. Ин-та прикладной геофизики АН СССР, -вып.1, -1925 -,с.87-106.
281. Клековкин В.А., Костюк А.Ф., Пономарев А.Н. О применении талламидных неполяризующихся электродов при измерении естественного электрического поля. Новосибирск, Тр СНИИМ, -вып.5, -1970.
282. Лейкис Д.И., Кабанов Б.Н. Неполяризующиеся электроды для измерения малых разностей потенциалов в море. Тр. ИОАН СССР, -т.19, 1956, -с. 34-40.
283. Литвинов Э.М., Подгорных А.В. Неполяризующиеся электроды при измерении естественных электрических полей. -М.: Инф.сообщ. ОНТИ ВИЭМС, сер. Регион, рав. и пром. геофиз, -№6, -1966, -с.18-20.
284. Миронов А.Т. Морские измерительные электроды. ДАН СССР, т.70, -№5, -1950, -с.148-150.
285. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. -Ленинград: Недра, 1980, -с.446.
286. Турлыгин С.Я., Карелина Н.А. Неполяризующиеся диффузионные электроды для измерения слабых токов, протекающих в любой среде. -Тр.МГИ. -т 7, -1956, -с.18-22.
287. Corwin R.F. Offshore use of the self-potential method. Geophys.Prosp., -v.24, -№1, -1976.
288. Yoshimatsu T. The measurements of earth-current potentials and its reability, Mem.Kokioka. Magn. Obs.Suppl. -v.1, -1957, -p.1-29.
289. Roeloffs E.A. Hydrologic precursors: A critical review// Pageoph. -1988. -Vol.126. -№2/4. -p.177-210
290. Rice J.R., Cleary j. Some basic stress- diffusion solution for fluid - saturated elastic porous media with compressible constituents //Rev. Geophys and Space Phys., -1976, -vol.14, -p.227-241.
291. Bredehoft J.D. Response of well-aquifer systems to earth tides //J. Geophys. Res., -1967, -vol.72, -№12, -p.3075-3087.
292. Helms R. Method for detecting surface and subsurface anomalies of the earth using vertical current measurements. Patent by USA №4507611, -1985.

293. Чедия О.К. О вертикальной и горизонтальной составляющих в процессе новейшего горообразования Тянь-Шаня //Геология кайнозоя Киргизии. Фрунзе: Илим, -1983, -с.62-76.
294. Оролбаев Э.Э. Гидрогеологическая скважина как объемный деформограф // Материалы 9 научной конференции молодых ученых АН Кирг.ССР, -Фрунзе: Илим, 1988, -с.138.
295. Проявление геодинамических процессов в геофизических полях // А.М.Волыхин, Б.Д.Брагин и др. - М.: Наука, 1993, -158с.
296. Rikitake T. An approach to prediction of magnitude and occurance time of earthquakes. // Tectonophysics, 1969, -vol.8, -№2, -p.81-85.
297. Whitcomb J.H., Anderson D.L. Earthquake prediction.: Variation of seismic velocities before the San Ferdinando earthquake // Ibid. -vol 180, - p.632-635.
298. Мячкин В.И., Зубков С.И. Сводный график предвестников землетрясений // Изв. АН. СССР. Физика Земли. 1973, -№6, -с.28-32.
299. Зубков С.И. Времена возникновения предвестников землетрясений // Изв. АН.СССР. Физика Земли. 1987,№5, с.87-91.
300. Сидорин А.Я. Зависимость времени проявления предвестников землетрясений от эпицентрального расстояния.// НАН СССР,1979,т.245, №4, с825-828.
301. Wolland H. Global guasi - static electric fields in the Earth enviroment. In: Electrical Processes in Atmosphere. Stein - Kopff, Darmstadt, West Germany, 1977,p.509-527.
302. Kasemir H.W. Theoretical problem of the global electrical circuit.- In: Electrical Processes in Atmosphere. Stein - Kopff, Darmstadt, West Germany, 1977,p.423-450.
303. Гохберг М.Б., Гуфельд И.Л., Добровольский И.М. Возмущения атмосферного электрического потенциала. В кн.: Электромагнитные предвестники землетрясений. - М.: Наука, 1982, с. 24-26.
304. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. -М.: Наука, 1971, -с. 126-141.
305. Иманкулов А.Ч., Струминский В.И., Непеин Н.А. Измерение напряженности электрического поля атмосферы во время землетрясения 27 октября 1984г в Таджикской ССР. // Атмосферное электричество: Труды 3 Всесоюзного симпозиума. -Л.: Гидрометеиздат, 1988, -с. 33-37.

306. Иманкулов А.Ч., Струминский В.И., Татаринцов С.П. Результаты наблюдений аномальных вариаций напряженности электрического поля атмосферы перед землетрясениями //Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума по атмосферному электричеству. -Нальчик, 1990, с.34-35.
307. Шарыгин С.А., Тенигин Б.Я., Печурин В.Т. Использование поведения рептилий как биологического предвестника землетрясений //Геофизический журнал. -№ 2, 1992, -Т.17, НАН Украины. Ин-т физики. -Киев, с.28-31.
308. Токтосопиев А.М., Шакиров Э.Ш., Погребной В.Н., Кожоева Г.М. и др. Отчет за 1995 г. по теме: «Исследование геомагнитной активности, электропроводности глубинных зон и закономерности изменения электротеллурического поля с целью обнаружения предвестников землетрясений». -Бишкек, 1995, Фонды ИС НАН КР , -№ гос.регистрации 01.89.0004697 , инв № 693.
309. Байбосунов А.Ж. Аномальное поведение животных перед Таш-Башатским землетрясением // 1 Всесоюз. Семинар «Биологические аспекты прогнозирования землетрясений». Изв. РАН, Физика Земли, -№8, 1992, -с.111.
310. Аузип А.К. Электроразведка. -Москва: Недра, 1977, -350с.
311. Электроразведка // Под ред. Тархова А.Г. Москва: Недра, 1979, -400с.
312. Гущин Г.П. Исследование атмосферного озона. -Л.: Гидрометеиздат, 1963, -с.8.
313. Реми Г. Курс неорганической химии. Пер с нем. 2 изд./под ред. Чл.-корр АН СССР. Новосеволой А.В. М.: Изд-во иностр. лит-ры.. 1963, т.1, -с.745.
314. Славинский М.П.Физико-химические свойства элементов. -М.: Металлургиздат, 1952, -с.563.
315. Дмитриев М.Т., Киросских Н.А. О специфических анализах малых концентраций озона. Хемилюминесцентный анализ озона //Журн. Физ. химии, 1968, т.12, вып. 12, -с.3125.
316. Хргиан А.Х., Перов С.П. Международный симпозиум по атмосферному озону. - Изв. АН СССР.Сер. физ.атмосф. и океана, 1981, т.17. -№4, -с.444.
317. Каримов К.А., Дробжев В.И., Солоницины Н.Ф., Гайнутдинова Р.Д. О некоторых ионосферно-магнитосферных и атмосферных эффектах,

- связанных с сеймотектоническими процессами в Казахстане и Киргизии. - Препринт, Фрунзе: ИЛИМ, 1990, 29с.
318. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. -М.: Изд. АН СССР, 1955, -с.351
319. Анисимов С.В. Экспериментальное исследование вариаций электрического поля атмосферы при естественных и искусственных воздействиях. Автореферат дисс. к.ф.-м.н. -М, 1985, -17с.
320. Мамыров Э.М., Омуралиев М.О. и др. Научный отчет за 1990г по теме: Разработать методику средне- и краткосрочного прогноза по комплексу сейсмологических, геофизических, гидрохимических и гидродинамических предвестников. Фонды ИС НАН КР. -Бишкек, 1990г, № гос. регистрации 01.86.0103638.
321. Мамыров Э.М., Омуралиев М., Токтосопиев А., Погребной В., Шакиров Э. и др. Отчет за 1995г. по теме «Комплексные геофизические исследования в районах ожидаемых сильных землетрясений на территории Кыргызстана с целью среднесрочного прогноза и уменьшения ущерба от сейсмокатастроф», -Бишкек, 1995, Фонды ИС НАН КР.-№ гос регистрации 0000385.
322. Мамыров Э., Омуралиев М., Шакиров Э., Токтосопиев А., и др. Отчет за 1995-1997 гг. (заключительный) по теме: «Комплексные геофизические исследования в районах ожидаемых сильных землетрясений на территории Кыргызстана с целью среднесрочного прогноза и уменьшения ущерба от сейсмокатастроф». -Бишкек, 1997, Фонды ИС НАН КР.№ гос регистрации 0000385.

Приложение 1
**СПИСОК МЕСТНЫХ ГРОЗ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ
ПРЖЕВАЛЬСК**

Дата	!	Время грозы (московское)	!	Дата	!	Время грозы (московское)
	!	ч. м.	!		!	ч.м.
I	!	2	!	3	!	4
1978 г.				02.07		15.40 -17.10
15.05		14.10 -14.20		05.08		00.25 -01.20
18.05		19.15 20.15				03.25 -05.05
20.05		17.00 -17.40		12.07		03.44 -04.15
08.06		23.40 -00.07		17.15		30.15 -17.30
13.06		09.15 -10.35		13.07		18.15 -19.05
20.06		15.45 -16.50		14.08		18.45 -19.15
23.06		22.15 -00.30		20.07		11.05 -11.45
05.07		15.25 -16.10		22.07		13.00 -13.35
11.07		18.10 -23.50				15.57 -16.20
18.07		16.35 -17.10		07.08		13.35 214.05
30.08		14.40 -16.00				17.15 -17.58
31.08		14.30 -16.00		12.08		05.40 -06.15
03.09		10.55 -12.20		13.08		15.44 -16.05
15.09		07.20 -08.20		29.25		13.35 -14.15
19.09		18.30 -20.25		31.08		16.07 -16.25
05.10		02.45 -03.15		08.09		22.20 -23.25
09.10		23.35 -00.25		09.09		13.21 -13.35
11.10		19.39 -20.10		01.11		22.50 -23.20
16.10		16.30 -16.50		03.12		03.51 -04.20
25.10		19.40 -20.20				
29.10		05.42 -06.18				1980 г.
1979 г.				05.05		18.58 -20.03
31.05		09.07 -09.45		09.05		12.34 -13.50
08.06		18.40 -19.25		11.05		13.33 -15.10
		22.25 -23.25		15.05		16.25 -16.50
26.06		18.45 -19.30		01.06		14.00 -14.35
28.06		00.30 -01.00		10.06		17.45 -18.00
		16.15 -18.00		11.06		18.00 -18.45
29.06		18.00 -18.15		14.06		02.53 -10.34
06.07		19.55 -20.30		15.06		21.35 -22.30
				10.30		10.30 -11.07

Продолжение приложения 1

—	1	2	3	4
15.06	13.10 -14.10	22.11	15.50 -16.25	
16.07	10.07 -10.45	26.11	15.35 -17.30	
25.07 -	18.10 -18.40			
26.07	19.58 -21.25		1981 г.	
05.07	09.55 -10.50	20.04	13.50 -14.20	
07.07	11.07 -12.53	15.05	21.05 -21.35	
24.07	18.38 -19.35	31.05	14.59 -15.20	
3. 08	04.28 -04.35	07.06	16.43 -17.05	
	05.31 -06.15	16.06	17.35 -18.00	
06.08	21.45 -22.35	17.06	18.00 -18.10	
09.08	15.35 -16.20	21 .06	11.00 -11.45	
23.08	07.48 -08.05		15.30 -16.15	
	10.55 -12.03		16.47 -17.25	
12.08	12.45 -13.05	27.06	20.25 -21.02	
13.08	19.20 -20.35		17.45 -18.00	
15.08	18.01- 18.35	28.06	18.00 -18.20	
16.08	18.50 -19.35	30.06	21.56 -23.40	
	15.02 -15.35	02.07	19.20 -20.10	
	16.20 -16.33	03.07	20.35 -21.40	
30.08	15.10 -15.25		09.44 -10.15	
31.08	22.00 -22.35	08.07	13.57 -15.07	
	07.37 -08.35		15.34 -17.10	
	09.10 09.35	09.07	12.45 -13.10	
06.09	02.20 -03.50	10.07	09.38 -11.15	
09.09	19.38 -20.10	15.07	01.25 -01.55	
11.09	04.13 -04.53		03.55 -04.10	
	07.43 -08.05		12.29 -13.30	
25.09	12.15 -12.35	17.07	18.26 -18.55	
	15.50 -16.10		07.25 -09.30	
26.09	09.08 -09.35		13.50 -16.10	
27.09	16.00 -16.50	19.07	03.23 -04.35	
01.10	18.07 -18.55		10.30 -11.30	
	21.17 -21.33	22.07	17.40 -18.00	
07. 10	11.40 -12.10	23.07	18.00 -18.25	
24.10	18.08 -18.55		16.47 -17.40	
15.11	06.11 -06.40	24.07	13.48 -15.25	

Окончание приложения 1

I	2	3	4
25.07	16.40 -16.58		
28.07	03.50 -05.10		
31.07	13.25 -13.55		
03.08	13.10 -13.25		
04.08	04.03 -04.30		
09.08	21.15 -22.35		
	04.05 -04.55		
11.08	12.05 -12.50		
12.08	18.15 -19.10		
16.08	09.50 -11.15		
17.08	13.22 -14.70		
24.08	10.40 -11.35		
29.08	13.12 -14.25		
07.09	11.38 -12.20		
08.09	09.50 -11.10	В 1978 г. 21 гроз 1979 г. 30 гроз 1980 г. 48 гроз 1981 г. 51 гроз.	
23.09	15.45 -16.30		
28.09	21.50 -00.50		
01.10	01.50 -02.45		
30.10	10.34 -10.50		

№ п.п.	Начало		Про- дол- житель- ность час	Амплитуда			Харак- терис- тика бури	Возмущение ЕИЭМЦ			
	Дата	Время		Д	Н	Z		Нач- ало	Про- дол- жи- тель- ность	Ин- тен- сив- ность имп/ч	Нали- чие совпа- дения
		UTC									
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1978г.											
I	14.02	21.50	23	I26	24	50	Б				
2	25.02	19.31	31	I20	I43	28	У				
3	27.02	9.00	85	II0	I24	56	У	07	03	I9000	+
4	8.03	14.42	10	I08	I97	I7	У	13	05	320	+
5	25.03	22.00	50	II4	I4I	3I	У				
6	3.04	4.00	66	I05	II6	54	У	09	08	I2032	+
7	10.04	13.11	56	8I	I65	42	У	22	03	I0752	+
8	13.04	14.00	50	75	I80	58	У				
9	19.04	4.00	30	I0I	I07	42	У	03	28	I2672	+
10	23.04	23.00	2I	78	I05	53	У				
11	30.04	9.50	32	I65	I8I	54	Б				
12	I.05	18.40	23	I07	239	67	Б				
13	2.05	23.22	46	I27	I95	69	Б				
14	8.05	13.00	39	92	204	I06	Б				
15	2.06	7.00	36	I68	259	58	Б				
16	4.06	12.11	24	84	I24	30	М				
17	10.06	8.28	27	I22	I29	42	У				
18	25.06	4.00	5	II3	I03	45	У				
19	29.06	9.48	40	I03	I98	80	Б				
20	3.07	22.05	43	I52	I83	69	Б				
21	27.08	11.00	I66	211	284	94	ОБ				
22	25.09	7.20	I29	225	296	98	ОБ				
23	26.10	12.00	I33	I0I	II4	32	У				
24	12.11	01.00	47	84	I94	46	У				
25	24.11	09.00	72	I42	I95	52	У				
26	14.12	01.28	73	77	I32	19	М				
27	17.12	13.00	83	II9	I62	33	У				
28	25.12	05.00	20	I28	I32	33	У				
29	3.01	20.00	26	79	93	25	М	22	02	I0752	+
30	6.01	23.39	26	90	I35	32	У				

Продолжение приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	23.01	9.00	26	I22	96	49	Y	10	20	I2480	+
32	21.02	04.00	68	I04	I74	38	Y				
33	9.03	8.16	57	II4	I71	0	Y				
34	22.03	8.30	36	I04	I80	50	Y				
35	28.03	8.27	57	I31	II7	44	Y				
36	3. 04	10.04	39	I20	I93	40	Y	5	01	I0880	+
37	5 .04	01.56	22	I32	I01	49	Y				
38	24.04	23.58	24	I59	284	96	0B				
39	29.05	18.55	22	I07	I68	53	Y				
40	6. 06	19.30	24	I26	214	87	Б				
41	6.07	19.33	25	90	I29	46	Y	18	24	II476	+
42	I3.08	6.12	26	I35	I82	57	Б				
43	20.08	6.26	38	I26	I92	90	Б				
44	29.08	4.59	33	I29	I41	63	Б				
45	I7.09	21.00		I32	I58	81	Б				
46	6 .10	11.24	84	78	I29	50	Y				
47	9.10	6.00	18	90	80	38	М				
48	I3.11	01.00	36	75	I20	39	М	9	22	9600	+
49	24.11	02.00	38	72	85	22	М				
50	28.12	24.00	72	67	98	23	М				
1980 г.											
51	I5.02	I2.36	35	87	I52	33	Y				
52	25.03	I5.00	45	I01	I04	46	Y				
53	7.04	11.00	63	I20	I22	31	Y				
54	9.04	05.00	I23	II4	95	41	Y				
55	9.05	02.00	I56	III	I34	45	Y				
56	24.05	9.00	88	II9	I67	74	Б	13	07	5760	+
57	29.05	18.38	46	II4	84	37	Y				
58	31.05	21.40	27	98	96	57	Y	14	04	5184	+
59	03.06	02.00	40	II2	81	64	Y				
60	06.06	11.00	214	I32	I68	66	Б				
61	I8.07	19.25	37	I22	I54	49	Y				
62	25.07	11.12	80	I46	I45	45	Y				

Продолжение приложения 2

	I!	2	!	3	!	4	!	5	!	6	!	7	!	8	!	9	!	10	!	11	!	12
63	I6.08	I2.42				I07		II4		I29		48		Y								
64	03.10	I5.00				247		II7		I55		49		Y								
65	I8.10	01.15				46		95		207		47		Y		02		04		3840		+
66	22.10	01.00				II9		II9		I53		45		Y								
67	30.10	I5.25				I25		93		I26		31		Y								
68	I9.12	04.56				89		293		396		83		0B								
I98I r.																						
69	I5.02	08.00				I8		87		II6		36		M								
70	06.02	08.50				39		I37		I50		28		Y								
71	8.02	I3.48				34		75		98		36		M								
72	24.02	I0.00				86		85		III		42		Y								
73	01.03	07.33				39		96		I20		34		Y								
74	05.03	05.30				63		I43		I86		I28		B		I9		01		I280		+
75	I2.03	I8.23				63		I42		I91		52		B								
76	25.03	II.00				37		I08		I40		40		Y								
77	II.04	I4.42				77		I50		336		55		0B		09		67		9088		+
78	I8.04	I5.08				29		I30		III		46		Y								
79	20.04	02.00				70		I28		I35		46		Y								
80	26.04	08.14				39		I08		I26		56		Y								
81	08.05	24.00				20		I22		I88		48		BB								
82	I0.05	22.10				I8		I58		I50		55		BB								
83	I4.05	I8.02				53		I64		I26		88		BB								
84	I7.05	23.10				21		II5		232		66		BB								
85	6.06	09.51				56		I34		I29		50		Y								
86	23.07	06.48				I8		I26		I28		58		Y								
87	25.07	05.15				40		278		300		I01		0B								
88	I7.08	00.46				23		I07		I01		41		Y								
89	22.08	23.00				60		I56		I05		35		Y		01		25		I0240		+
90	30.08	22.27				I8		I39		II2		28		Y								
91	08.09	21.30				64		I07		II8		32		Y								
92	I8.09	I9.12				30		I39		I32		38		Y								
93	02.10	20.24				27		I02		I41		42		YB								
94	I0.10	I4.37				33		91		I39		46		YB								

Окончание приложения 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
95	13.10	22.44	19	129	258	29	ББ				
96	20.10	13.46	28	154	148	31	УБ				
97	22.10	05.24	34	120	186	64	ББ				
98	24.10	10.00	34	66	64	18	МБ				
99	11.11	12.40	25	111	114	39	У				
100	29.12	5.57	40	66	166	56	У	04	15	3840	+

Приложение 3

Бухтообразные возмущения					Возмущения ЕИЭМП			
№ бух-ты	Дата	Начало бухт время UT ч . м	Длитель- ность бухт ч . м	Ампли- туда γ	Начало UT ч . м	Длитель- ность ч . м	Интен- сив- ность имп/ч.	Совпа- дение.
-1	2	3	4	5	6	7	8	9
1978 г.								
1	12.02	21.27	01.33	24				
2	19.02	23.18	01.27	21				
3	20.03	14.06	01.44	15	12.00	19.00	448	+
4	29.03	16.00	01.45	27				
5	01.04	16.40	01.10	18				
6	05.04	19.30	01.30	24				
7	18.04	17.10	01.20	33	05.00	17.00	12000	+
8	27.04	15.45	01.15	33				
9	5.05	21.20	01.00	18				
10	25.06	19.40	01.20	24				
11	11.08	16.20	01.00	18				
12	21.10	18.15	01.00	27				
13.	22.10	22.00	01.00	18				
14	21.10	22.00	01.00	18				
1979 г.								
15	1.01	21.30	01.00	21				
16	12.01	23.00	02.00	15				
17	22.01	18.35	03.55	42				
18	27.01	21.00	01.55	45				
19	28.01	18.20	01.20	39				
20	06.02	21.25	01.35	30				
21	08.02	18.10	01.35	18				
22	15.02	15.45	01.00	21				
23	19.02	13.00	01.10	24				
24	4 .03	23.35	01.00	33				
25	21.04	18.30	01.20	45				
26	12.07	16.00	01.35	21				
27	28.0.	21.00	01.00	27				

Продолжение приложения 3

I	!	2	!	3	!	4	!	5	!	6	!	7	!	8	!	9
28		7 .08		19.40		01.00		27								
29		11.08		18.10		01.25		24		10		4		4224		+
30		17.08		16.05		01.15		15								
31		5. 09		20.00		01.30		45								
32		12.09		23.00		01.20		24								
33		12.10		23.00		01.00		21								
34		16.06		14.00		01.50		18								
35		29.06		19.00		01.00		24								
36		22.10		16.50		01.00		27								
37		07.11		18.10		01.40		18								
38		27.11		16.20		01.10		27								
39		11.12		18.40		01.00		18								
40		1980 г.														
40		04.01		15.00		01.00		30								
41		01.02		18.20		04.40		24								
42		09.02		18.20		01.00		39								
43		16.02		17.40		04.30		15		19		3		1280		+
44		13.03		19.25		01.35		15								
45		21.03		20.00		02.00		45								
46		25.04		05.15		01.05		45								
47		25.04		13.05		01.25		18								
48		23.05		12.07		01.03		27								
49		11.06		21.50		02.10		35		12		3		4352		+
50		56 07		18.00		01.00		27								
51		17.07		19.40		02.27		18								
52		09.09		16.25		01.35		27								
53		18.10		19.00		01.00		24								
54		02.11		16.20		01.40		36								
55		4.11		17.50		01.00		18								
56		23.11		16.00		04.00		+27-27								
		1981 г.														
57		01.01		17.50		02.20		+30-12								
58		02.01		16.15		04.20		24								
59		04.01		19.50		01.40		27								
60		14.01		13.00		01.10		+15 -12								

Окончание приложения 3

	I !	2 !	3 !	4 !	5 !	6 !	7 !	8 !	9
61	I7.0I	I3.00	0I.20	2I	07	05	3008	+	
62	3I.0I	20.00	02.00	30					
63	II.02	I7.00	0I.00	I8					
64	I5.02	I6.30	0I.I0	30					
65	22.06	I9.40	0I.00	I2					
66	I2.07	04.00	02.00	I8					
67	23.08	00.25	0I.05	2I					
68	24.08	00.25	0I.05	2I					
69	I2.09	I7.42	0I.I8	33					
70	I5.09	I6.40	0I.20	24					
7I	26.II	I7.45	0I.45	I8					
72	03.II	I9.I0	0I.50	I5					
73	0I.II	I0.20	0I.40	24					

Оглавление

Введение	3
Глава I. Электромагнитные явления в различных оболочках Земли в связи с сейсмичностью. (Обзор)	8
1. Исторические сведения	8
1. Природа и характер фоновых вариаций естественного импульсного электромагнитного поля (ЕИЭМП) в сейсмоактивных районах	15
1.2.1. Атмосферика	16
1.2.2. Наблюдения аномальных вариаций ЕИЭМП в сейсмоактивных зонах	21
1.3. Атмосферно-электрические поля и световые эффекты.....	30
1.4. Сейсмоионосферные явления	35
1.5. Электротеллурические поля	43
1.6. Нарушения поведенческих реакции живых объектов перед землетрясениями	52
1.7. Процессы подготовки землетрясений и модели источников электромагнитных предвестников	55
1.8. Выводы к главе I	60
Глава II. Геологическая характеристика и сейсмичность районов исследований (республика Кыргызстан)	61
2.1. Краткий физико-географический очерк	61
2.2. Геотектонические особенности	61
2.3. Геологические строения и геодинамические особенности района исследований	67
2.4. Характеристика геофизических полей	78
2.4.1. Магнитное поле	79
2.4.2. Геоэлектрический разрез	79
2.4.3. Гравитационное поле	81
2.4.4. Сейсмологический разрез и общие сведения о сейсмичности	82
2.4.5. Современные движения земной коры на геодинамических полигонах Кыргызстана.....	90
2.5. Выводы к главе II и постановка задач для исследований	92
Глава III. Измерительный комплекс для изучения параметров электромагнитных сигналов. Методика стационарных наблюдений и алгоритмы обработки электромагнитных рядов	94
3.1. Аппаратура стационарных наблюдений методом счета импульсов ЕИЭМП	94

3.2. Аппаратура стационарных наблюдений ЕИЭМП методом огибающей сигнала	98
3.3 Методы измерения напряженности атмосферного электрического поля (АЭП)	101
3.4. Методика измерения горизонтальной составляющей электротеллурического поля (ЭТП)	105
3.5. Методика и алгоритм обработки электромагнитных рядов	108
Выводы к главе III	118
Глава IV. Исследование особенностей ЕИЭМП в сейсмоактивных зонах Кыргызстана	119
4.1. Регулярные вариации фоновой интенсивности ЕИЭМП ..	119
4.1.1. ЕИЭМП и метофакторы	124
4.1.2. Сопоставление вариации фоновой интенсивности ЕИЭМП с вариациями геомагнитного поля	134
4.2. Исследования формы сигналов ЕИЭМП с целью определения соотношения источников атмосферного и литосферного происхождения	143
4.3. Методика отбора данных для анализа связей аномалий ЕИЭМП с сейсмичностью	146
4.4. Сопоставления аномалий ЕИЭМП с сейсмичностью ..	149
4.4.1. Особенности возмущений хода ЕИЭМП, регистрируемое в зоне подготовки землетрясений	149
4.4.2. Возмущения хода ЕИЭМП, регистрируемые вне зоны подготовки землетрясений	157
4.4.3. Отсутствия выраженных возмущений ЕИЭМП перед землетрясениями и возмущения поля в отсутствие землетрясений	163
4.5. Результаты исследований ЕИЭМП методом огибающего сигнала на частоте 17,8 к Гц	163
Выводы к главе IV	178
Глава V. Электротеллурическое поле и сильные землетрясения	180
5.1. Инструментальные наблюдения горизонтальной составляющей электротеллурического поля в зоне разлома	180
5.1.1. Анализ фоновой вариации электротеллурического поля ..	185
5.1.2. Результаты наблюдений электротеллурических предвестников землетрясений	188
5.2. Наблюдения за вертикальным составляющим электротеллурического поля (ЭТП) в перед землетрясениями	195
Выводы к главе V	217

Глава VI. Аномалии атмосферно-электрического потенциала в сейсмоактивных регионах Кыргызстана. Наблюдения биореакции живых организмов	220
6.1. Аномалии атмосферно-электрического потенциала ...	220
6.2. Наблюдения биореакции живых организмов	231
Выводы к главе VI	240
Глава VII. Исследования и разработка методов инструментального картирования разломных структур.....	241
7.1. Результаты маршрутных наблюдений ЕИЭМП в зонах активных разломов	241
7.2. Исследование разломов СДВ – зондированием с использованием радиопередатчиков	248
7.3. Результаты маршрутных исследований концентрации озона приземного слоя атмосферы в зонах геологических разломов	251
Выводы к главе VII	258
Глава VIII. Комплексный анализ результатов исследования электромагнитных явлений на территории Кыргызстана.....	259
8.1. Результаты совокупного анализа	259
8.2. Методология прогноза землетрясений электромагнитным способом в комплексе другими геофизическими предвестниками.....	267
Выводы к главе VIII	273
IX. Заключение	274
X. Литература	277
XI. Приложения	302
XII. Оглавление	312

