

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЛОКАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА БИШКЕКСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ АКТИВНОГО МОНИТОРИНГА.

Л.М.Богомолов¹, А.А.Авагимов², В.Д.Брагин¹, А.С.Закупин¹, В.А.Зейгарник², В.Н.Сычев¹,
Н.А.Сычева¹, В.М.Шавлыгин¹, Г.Г.Щелочков¹.

1 - Научная станция РАН в г. Бишкеке (НС РАН), Россия

2 – Институт теплофизики экстремальных состояний (ИТЭС) ОИВТ РАН, Москва, Россия

В ряде работ рассматривается возможность активного сейсмического и геофизического мониторинга, основанного на изучении откликов геофизических полей на хорошо воспроизводимое воздействие мощных вибраторов. Эффект влияния вибраторов на сейсмоакустическую эмиссию и микросейсмичность (вибросейсмический эффект) достаточно известен. При электромагнитных зондированиях с применением мощных источников тока с целью мониторинга электросопротивления глубинных слоев земной коры энерговыход может быть сопоставим с энергией слабого землетрясения. Так обстояло дело при пусках геофизических МГД-генераторов, а влияние этих пусков на изменение режима слабой сейсмичности было показано в [9]. В настоящее время на Бишкекском геодинимическом полигоне продолжается электромагнитный мониторинг с использованием специального сильноточного источника – электроразведочной генераторной установки (ЭРГУ, [2]). В некоторых режимах включения ЭРГУ энерговыход может быть еще больше, чем при МГД-пусках. В связи с этим представляет интерес рассмотреть возможное влияние на локальную сейсмичность импульсов тока, генерируемых ЭРГУ, и сопоставить эффект электровоздействий при ионосферных возмущениях (магнитных бурях [4]), при пусках МГД-генераторов и при применении обычных источников тока. Этому посвящен данный доклад.

Используя данные цифровой телеметрической сети KNET, по графикам суточных распределений чисел землетрясений, показано, что подобно случаю МГД –генераторов [9], электроимпульсы ЭРГУ (энерговоздействия) вызывают прирост микросейсмичности, что должно способствовать разрядке избыточных напряжений в геологической среде. Статистически значимые корреляции изменений слабой сейсмичности с электропереносом при проведении электромагнитных зондирований выявлены (методом совмещения периодов наблюдений). Кроме того, зарегистрировано несколько случаев недвусмысленного, заметно превышающего дисперсию, отклика сейсмической активности на действие мощных электроимпульсов с крутыми фронтами нарастания и спада.

Методика и результаты исследования.

В качестве одного из методов электромагнитного мониторинга напряженно-деформированного состояния породных массивов Бишкекского полигона и прилегающих территорий используется метод зондирования становлением поля (ЗС). Детально методика мониторинга изложена в [3]. Зондирования по методу ЗС реализуются при помощи стационарного питающего диполя длиной 4200 м, расположенного в центральной части полигона и ориентированного в субмеридиональном направлении. Для возбуждения тока в питающем диполе используется электроразведочное генераторное устройство (ЭРГУ). Зондирующий импульс представляет собой серию периодических знакопеременных импульсов тока прямоугольной формы с амплитудой около 600А и периодом 10 с. Длительность сеанса около 15 минут. С января 2000 г. на Бишкекском полигоне, примерно раз в 35 дней, проводится дополнительное электроразведочное зондирование, при котором в питающий диполь подается 200 однополярных импульсов длительностью 5 или 10 сек. каждый, причем энерговыход и электрохимический перенос оказываются значительно больше, чем в случае применявшихся ранее МГД-генераторов. В работе [1] указано, что энергия, отдаваемая МГД генератором в питающий диполь, в среднем составила $0,12 \cdot 10^8$ Дж. (т.е. 12 МДж), а среднее значение энерговыхода в каждой серии из 200 пяти или десятисекундных импульсов соответственно равны 151 МДж и 301 МДж.

Поскольку суточный вклад энергии в проводящую геологическую среду сопоставим с энергией слабого землетрясения, зондирующие импульсы можно рассматривать как энергетические воздействия (ЭВ) на коровые структуры. В день проведения дополнительных однополярных зондирований энерговклад увеличивается всего на 30 %, но существенно возрастает электроперенос. Высокая воспроизводимость формы импульсов тока в питающем диполе в течение всех экспериментальных сеансов позволяет применить методику совмещения периодов (в нашем случае длительностью 35 суток) для выявления корреляций микросейсмичности с электромагнитными энерговоздействиями. При этом основными отличиями, выделяющим эти ЭВ, среди флуктуаций естественных теллурических токов, в частности, ионосферной природы возмущениями, являются их регулярная повторяемость (в одно и то же время раз в 35 дней) и крутые фронты.

Для анализа изменения сейсмичности был использован каталог сейсмических событий за 1996 -2003 годы, полученный по данным сейсмологической сети KNET, которая состоит из десяти автоматических телеметрических широкополосных станций. Семь станций установлены в предгорьях Киргизского хребта и с северной части Чуйской долины, а три станции установлены в труднодоступных районах Тянь-Шаня (Джумгалский хребет, Юго-западная часть Сусамырской впадины). На всех станциях используются широкополосные сейсмометры STS-2. В результате эксплуатации сети KNET было установлено, что данная система позволяет хорошо регистрировать не только местную сейсмичность, но и удаленные большие сейсмические события, а также промышленные взрывы. Для расчета параметров гипоцентра используется программа HYPOCENTER и шестислойная скоростная модель С. Рекера [12]. Сопоставление результатов обработки с данными института сейсмологии Киргизской республики и Калифорнийского университета в Сан-Диего (UCSD) показало их хорошую совместимость. За 1996-1999 гг, т.е. в период, когда электромагнитный мониторинг уже давно проводился, но до начала экспериментальных ЭВ, был построен график повторяемости для изучаемой территории. По графику был выделен интервал магнитуд $1,6 < Mb < 3,6$ (т.е. с энергетическим классом $K: 6,5 < K < 10,5$), где его линейность свидетельствует об отсутствии пропусков событий. С учетом этого и анализа, проведенного одним из соавторов в [7], каталог может быть использован для проведения сейсмологических исследований.

На рис.1 приведены графики изменения во времени относительной доли слабых землетрясений, произошедших за 35 -дневный период. Видна тенденция уменьшения доли событий 6,5-7,5 классов и увеличения пропорции событий 7,5-8,5 классов с началом эксперимента на Бишкекском полигоне. Важно отметить, что уменьшение доли относительно слабых событий не связано с ухудшением работы сети, так как условия регистрации и программное обеспечение оставалось таким же, как до 2000 г.

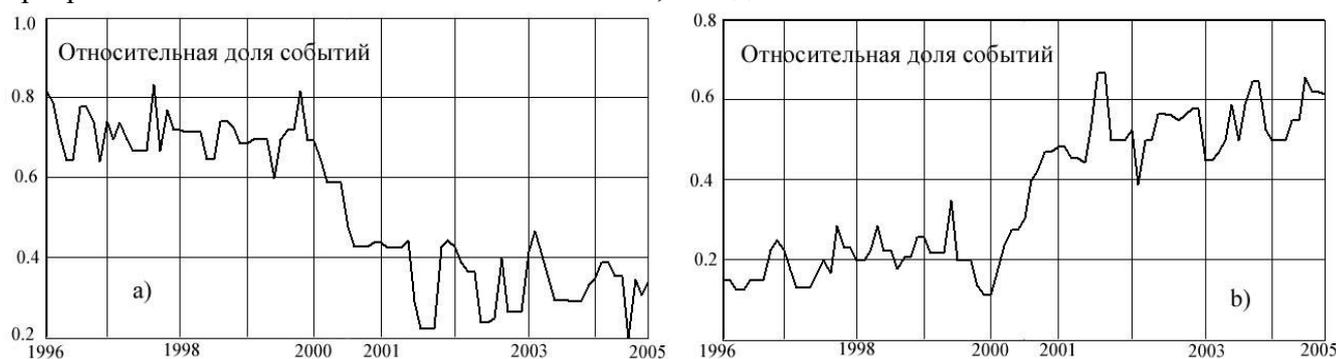


Рис.1 Изменение доли слабых землетрясений во времени начиная с 1996 г.:

а – для событий 6,5-7,5 энергетических классов и б – для событий 7,5-8,5 классов.

Исследование распределения количества землетрясений в каждом 35-дневном окне $\{t_j-17, t_j+17\}$, где $t_j, j=1,2,3...31$ - время очередного энерговоздействия, показало, что отклик среды на ЭВ носит неоднозначный характер. В большинстве окон после ЭВ проявляется повышение сейсмичности, однако в других есть и уменьшение, или же вообще отсутствие событий после ЭВ. Для выделения эффектов ЭВ на фоне нерегулярных факторов все окна $\{t_j-17, t_j+17\}$ были совмещены и построены кумулятивные распределения среднесуточного количества сейсмических событий до и после ЭВ. Результат представлен на рис.2. Для наглядности

сравнения показаны аналогичные кумулятивные графики за 1997-1999 годы (случаи 2a, 2b). При построении графиков сравнения каждому из 35- дневных окон в период 2000-2002 гг. ставился в соответствие тот же календарный период в 1997-1999 гг., затем условные периоды совмещались наподобие окон $\{t_j-17, t_j+17\}$. Как видно на рис.2, форма графиков среднесуточного количества землетрясений, усредненного по 35 окнам за 2000 г- начало 2003 г (2c, 2d) не совпадает с соответствующими графиками за 1997-1999гг. (2a, 2b). Графики рассеяния числа событий энергетических классов 6,5-10 и 7,5-8,5 (случаи 2c, 2d соответственно) демонстрируют кратковременное повышение сейсмической активности, происходящее с 4-5 дневной задержкой после воздействий. В период задержки происходит даже некоторое снижение активности. Активизация наблюдается и на не показанном здесь кумулятивном распределении выделившейся энергии, построенном аналогично графикам на рис.2. На этом же рисунке показан (случаи 2e, 2f) результат совмещения 35 дневных окон с экспериментальными сеансами, которые не попадают в период максимальной грозовой активности, т.е. с середины апреля до середины сентября.

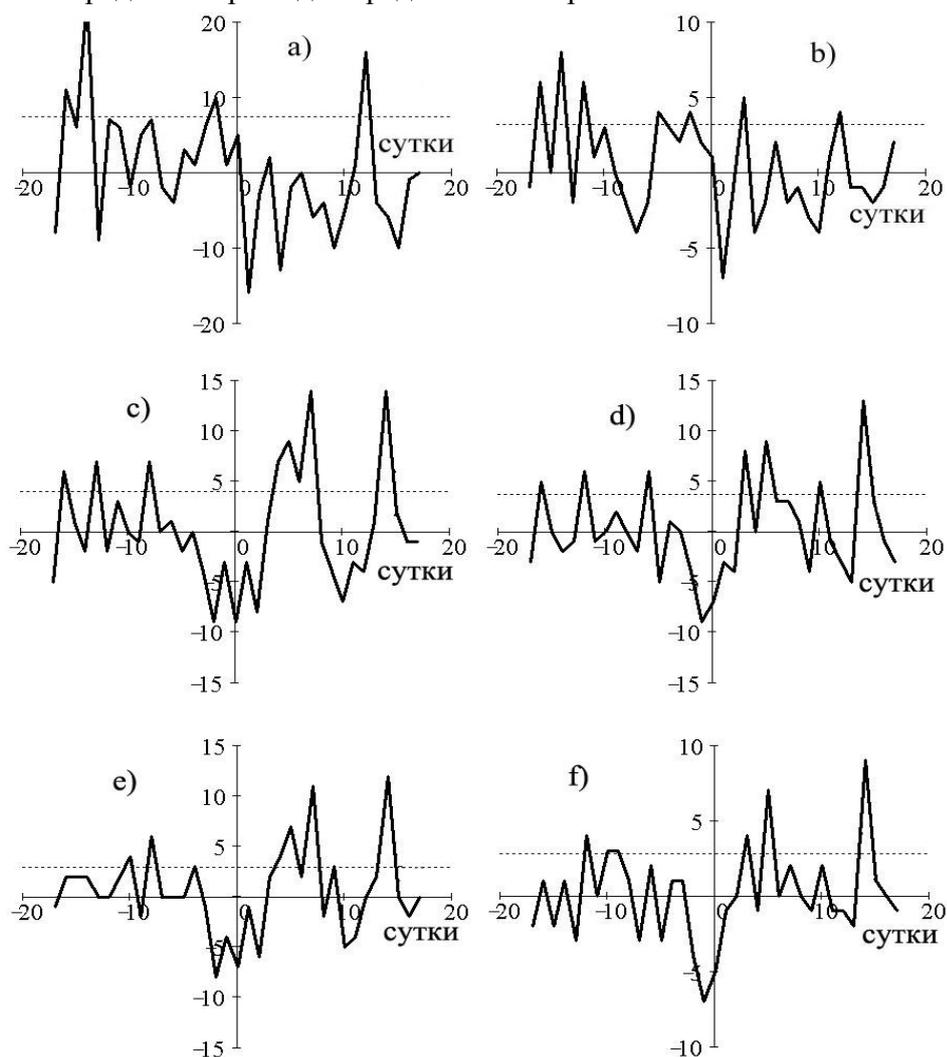


Рис. 2. Отклонение от среднего значения количества землетрясений:
a, b- события соответственно 6,5-10 и 7,5-8,5 классов за 1997-99 гг (31 окно до эксперимента);
c, d – такие же распределения за 2000-2003 гг (35 окон в период экспериментальных ЭВ);
e, f – распределения в тот же период, построенные по 23 из 35 окон,- исключены окна, попадающие на месяцы максимальной грозовой активности, слева 6,5-10 класс, справа 7,5-8,5
День ЭВ соответствует оси ординат. Пунктир - среднеквадратичное отклонение, определенный за первые 17 суток (до ЭВ).

Токи в грозовых разрядах достигают десятка килоампер, т.е. намного выше, чем генерируемые ЭРГУ импульсы в диполе. Априорно можно было бы предполагать, что грозы, а не электроимпульсы ЭРГУ, оказывают триггерное влияние на слабую сейсмичность в летние

месяцы, и лишь “благоприятное” совпадение фаз с некоторыми окнами $\{t_j-17, t_j+17\}$ создает впечатление о корреляциях сейсмической активности и ЭВ. Однако, как свидетельствует рис 2 (случаи 2e,2f), и после исключения грозových месяцев эффект остается, причем различие хода графиков в полуокнах до и после дня ЭВ не становится менее контрастным. Тем самым устраняется сомнение относительно того, не наблюдается ли “замаскированный” вклад грозových разрядов вместо эффекта, связываемого с ЭВ при электрoзондировании.

Поскольку активизация слабой сейсмичности приходится на 5 - 7 день после ЭВ, представляет интерес сравнить пространственное распределение землетрясений, произошедших за 7 дней после ЭВ, с распределением гипоцентров событий за 7 дней до ЭВ. Для этого по каталогу KNET за 2000-2003 гг была построена карта расположения землетрясений 6,5-10,0 и 7,5-8,5 классов за 7 суток до и после ЭВ (рис.3). Разумеется, рисунок отражает фрактальность сейсмичности - известное общее свойство расположения гипоцентров, не связанное с вопросом об ЭВ. Тем не менее из рисунка видно, что после ЭВ не только увеличивается количество событий, но и изменяется их распределение в пространстве. Непосредственно вблизи источника ЭВ существенный (если не основной) вклад в сейсмический отклик на электроимпульсы дают события, гипоцентры которых лежат вдоль разломов (рис.3). Важен тот факт, что прослеживается активация микросейсмичности на Аламединском разломе, к борту которого подведен один из концов первичного (возбуждающего) диполя. Поскольку разломы являются зонами повышенной водонасыщенности, это подтверждает роль флюидного механизма массо- и электропереноса и сопутствующих ему электрокинетических и электромеханических эффектов [6] (в частности, связанных с множественными двойными слоями [1] и потенциалом протекания) в инициировании слабых землетрясений неподалеку от источника ЭВ. Обращает на себя внимание то, что гипоцентры событий, “добавленных” вследствие ЭВ, покрывают сильно вытянутые в субширотном направлении участки площади, которые, во-первых, приурочены к разломным структурам, а, во-вторых, соответствуют местам концентрации гипоцентров (т.е. сейсмогенерирующим зонам). Любопытно, что все эти зоны, одна из них, к примеру, локализована на 43° с.ш., 77° - 78° в.д., удалены от питающего диполя на расстояния, десятикратно и более превышающие длину диполя. Впервые соответствие сейсмогенерирующих зон и областей, дающих прирост сейсмичности, т.е. отклик на ЭВ было найдено в исследованиях Тарасова Н.Т. с соавторами [8,9]. Подтверждение этой корреляции данной и последующими работами, позволяющее в дальнейшем уточнять положение сейсмогенерирующих зон новым способом, может иметь значение для проблемы сейсмического районирования.

Значительный интерес также представляет вынесенное на рис.3 распределение сейсмических событий до и после ЭВ с сепарацией по глубине гипоцентров событий, зарегистрированных в течение 7 дней до и после дня ЭВ. Ранее в работах, посвященных энерговоздействиям при пусках МГД генераторов (например, [9]), было отмечено, что на Бишкекском полигоне после этих пусков сейсмичность активизировалась преимущественно на глубине до 5 км. Однако, как показывает рис.3 (g, h), для глубин 10-15 км эффект, связываемый с электроимпульсами ЭРГУ, проявляется еще контрастнее, чем в приповерхностном слое 0-5 км (случаи 3c, 3d) и в промежуточном слое с глубинами 5-10км (случаи 3e, 3f). Поскольку на глубинах 10-15 км находится большинство гипоцентров землетрясений в Северном Тянь-Шане [2,3], этот неожиданный результат укладывается в русло тенденции - чем выше сейсмическая активность объема геосреды, тем больший вклад он дает в отклики на ЭВ.

Можно попытаться понять отличие глубинности триггерных эффектов при электрoзондировании с ЭРГУ от случая МГД пусков, принимая во внимание свойства аккомодации геологической среды к внешним воздействиям (их аналогом является хорошо известный эффект Кайзера для акустической эмиссии металлов и некоторых других материалов). МГД генераторы использовались как источник питания для электрoзондирований в 80-х годах, прежде исследуемая область геосреды не подвергалась такого рода воздействиям. При этом естественно, что отклик в виде наведенных сейсмических событий идет из приповерхностного, ближайшего к диполю слоя, где плотность токов максимальна. А вот эксперимент с однополярными импульсами ЭРГУ осуществлен в ходе продолжающегося электромагнитного мониторинга. Если стимулирующий эффект ЭВ действительно существует,

то под влиянием ежедневных зондирований (для контроля электросопротивления методом ЗСД) неупругие процессы в прилегающих к диполю областях успели многократно активироваться и отрелаксировать, даже если эффективность двуполярных (знакопеременных) токовых импульсов ниже, чем однополярных, как это ранее предполагалось из соображений электропереноса. Отклик на увеличение энергоклада получается благодаря таким зонам, более отдаленным от диполя, которые в меньшей степени приспособились к электромагнитному воздействию, но куда еще доходят импульсы тока при ЭВ. Косвенным подтверждением этого может служить возрастание доли 35 дневных окон с положительным откликом (приростом числа событий после ЭВ) при переходе от сеансов ЭВ с 5-секундными импульсами (эксперименты #1-18) к 10-секундным (эксперименты #19-35). Понятно, что для более длинных импульсов глубина скин-слоя больше, и они с меньшим ослаблением доходят до глубин порядка 12-15 км, где локализованы гипоцентры большинства землетрясений в Северном Тянь-Шане [2], т.е. где геологическая среда находится в околокритических условиях (вблизи потери устойчивости).

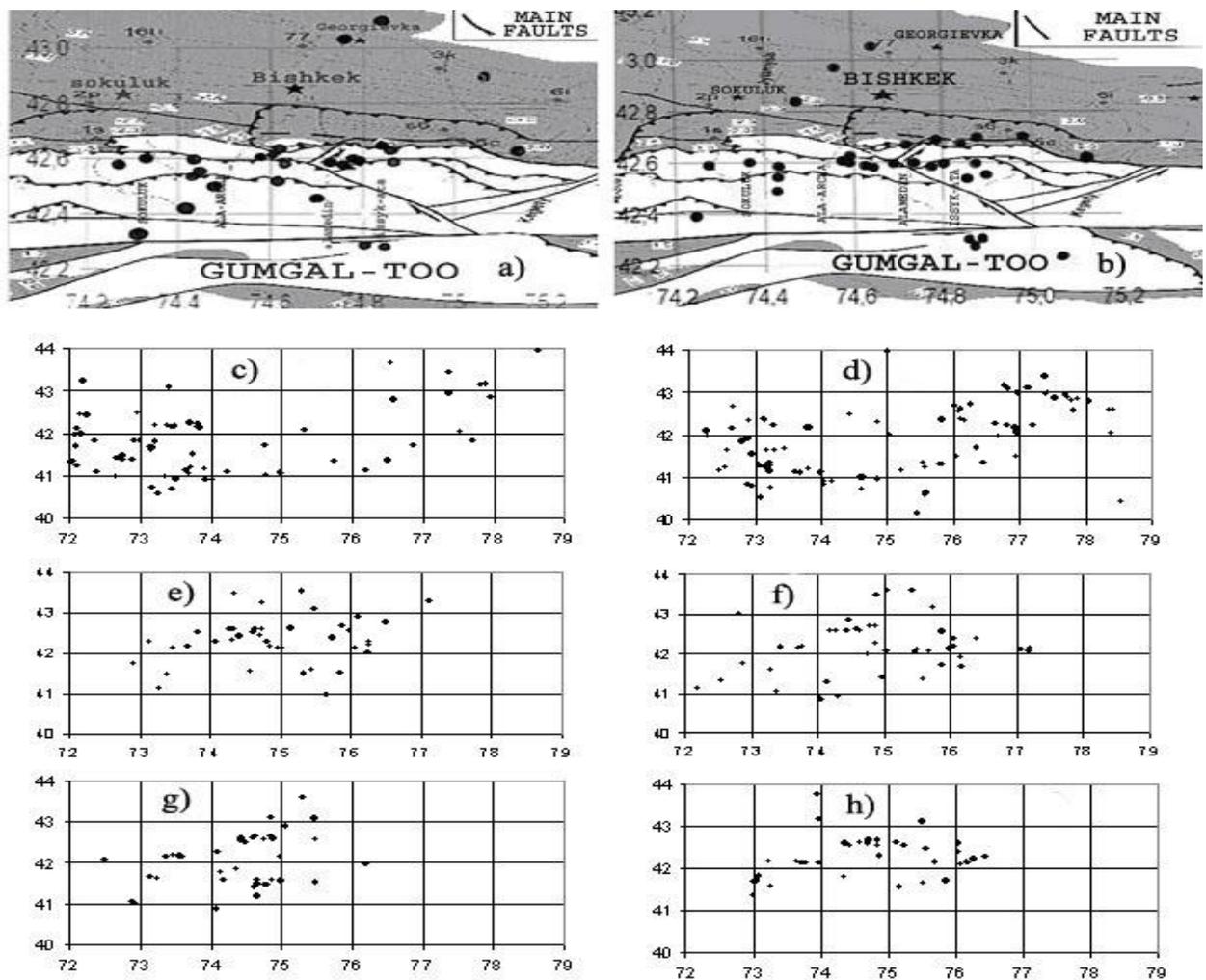


Рис.3 Площадное распределение сейсмических событий вблизи возбуждающего диполя, произошедших в течение 7 суточных интервалов до (слева, а,с,г) и после дней ЭВ (справа, b,d,h):

а, b - суммарные распределения событий, показаны главные разломы (—) и надвиги (—▼—▼—▼); далее площадные распределения с сепарацией по глубинам гипоцентров: с, d – в слое 0-5 км, е, f – 5-10 км, г, h – 1 в слое 10-15 км. Координаты диполя $42,8^{\circ}$ с.ш., $74,7^{\circ}$ в.д.

Обсуждение результатов

Наблюдения вариаций сейсмичности в окнах #1- 18, соответствующих пятисекундным зондирующим импульсам, нельзя рассматривать ни как однозначное подтверждение, ни как опровержение триггерного ЭВ. Вероятно, амплитуда и длительность таких импульсов соответствует пороговым для эффекта активизации сейсмичности. При удвоении энергоклада и увеличении глубины проникновения тока за счет увеличения длительности электроимпульсов до десяти секунд (окна 19-35) триггерный эффект проявился достаточно отчетливо. Эти окна дали основной вклад в изменения кумулятивных распределений на рис.2. Кроме того, в нескольких окнах зарегистрированы настолько отчетливые всплески сейсмической активности, коррелирующие с ЭВ (рис. 4), что даже без остальной статистики они могли бы привлечь внимание к дальнейшему анализу (и объяснению) механизмов влияния электромагнитных импульсов. Скорее всего, в случаях, показанных на рис. 4, электроимпульсное ЭВ совпало с “благоприятной фазой” других стимулирующих факторов (лунно-солнечные приливы, удаленные землетрясения ...). Важно отметить, что при пусках МГД-генераторов было реализовано скорее комбинированное, чем чисто электромагнитное энерговоздействие: вибрации из-за неполной компенсации пондеромоторных сил в электромагнитах и действия рассеянных магнитных полей на конструкцию МГД-установки могли способствовать изменению сейсмического режима наряду с токовыми импульсами. Сейсмический эффект вибровоздействий хорошо известен, но этот вопрос ранее не поднимался из-за неопределенности присоединенной массы, которой в первую очередь передаются эти вибрации. Кроме того, могут сказываться ионосферные возмущения, вызываемые плазменной струей МГД-генератора. С этими оговорками неудивительно, что большая (чем в случае [1,9,10]) задержка отклика микросейсмичности свидетельствуют о более слабом действии 600-амперных токовых импульсов ЭРГУ по сравнению с двухкилоамперными токами при МГД пусках, заметно превышающими пороговый уровень.

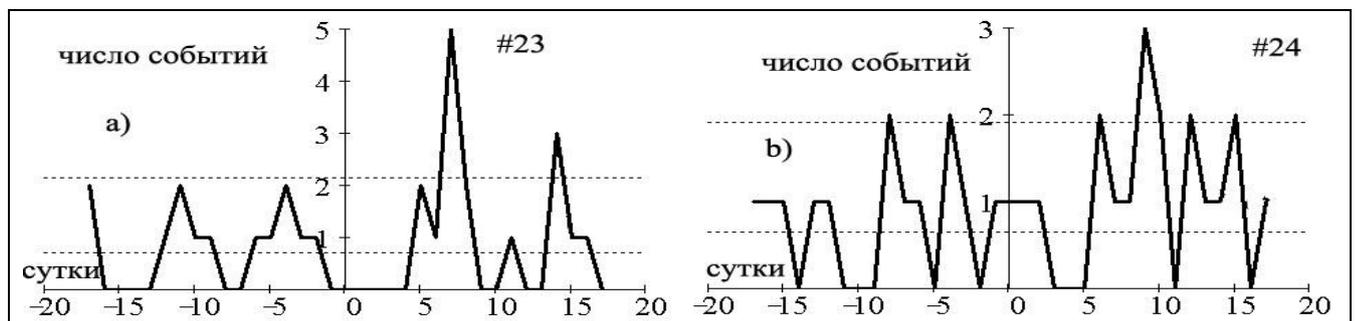


Рис.4 Примеры распределений суточного количества событий в 35-дневных окнах, идентифицируемых как явные отклики на ЭВ. Стрелкой отмечен день ЭВ. Пунктиром показано среднеквадратичное отклонение, найденное по первым 17 суткам до ЭВ, и его утроенное значение

а) – пример отклика на ЭВ, явно выделяющегося после предыстории; б) пример, демонстрирующий различие между вынужденным откликом и спонтанным всплеском, превышающим дисперсию

При попытке воспроизведения в лабораторном эксперименте аналогичных электротриггерных эффектов, была получена информация, проливающая определенный свет на характер откликов геосреды на ЭВ. Физическое моделирование на образцах геоматериалов проведено в ИС РАН в г. Бишкеке. Для испытания образцов использовался пружинный 100-тонный пресс (установка для длительных испытаний, УДИ, конструкция А.Н. Ставрогина, ВНИМИ РАН). В ходе испытаний при постоянной нагрузке проводилось дополнительное воздействие: через образец пропускались импульсы тока, форма которых аналогична импульсам ЭРГУ. Эксперименты с имитацией энерговоздействий дали следующие результаты (рис 5), помимо почти тривиального на сегодня проявления триггерного эффекта для акустической эмиссии [5,11]. В установившемся режиме деформирования первый электроимпульс вызывал, с некоторой задержкой, рост акустической эмиссии (АЭ). Время задержки варьировалось, перед активацией иногда наблюдалось снижение уровня активности,

что создавало впечатление об “отрицательных откликах” на ЭВ. Однако интегрально всегда имеет место прирост числа событий (по сравнению с экстраполируемым фоновым уровнем). Здесь можно провести параллели с работой [4], посвященной влиянию магнитных бурь на сейсмичность. С положительными и “отрицательными” откликами суточного числа землетрясений и активности АЭ нагруженных образцов можно сопоставить выявленные в [4] корреляции и антикорреляции. Наличие нескольких мод откликов [5] отражает свойства самоорганизующихся систем, к которым относятся изучаемые объекты, но это не должно ставить под сомнение достоверность эффекта.

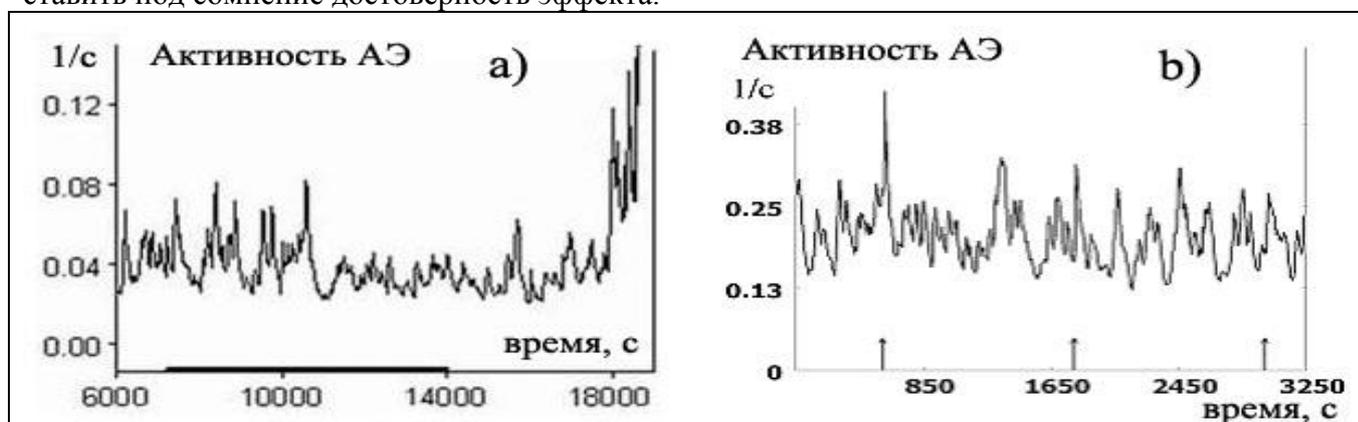


Рис.5 Результат лабораторного моделирования на образцах:

а-переходный процесс перед активацией АЭ образца гранодиорита при воздействии 50 В прямоугольными импульсами генератора Г5-54. Всплеск АЭ произошел после некоторого уменьшения самой активности и ее дисперсии

б-Ослабление отклика АЭ нагруженного образца галита при повторных ЭВ. Каждое воздействие, отмеченное стрелкой, - серия из 10 разрядов напряжением 900 В, длительностью 0,5 мс

При повторных включениях макетных ЭВ была установлена такая особенность воздействия электроимпульсов на процесс неупругого деформирования, проявляющийся в изменении АЭ, как деградация акустоэмиссионного отклика. При постоянной нагрузке отклик АЭ на повторные однотипные ЭВ ослабляется или вообще исчезает (рис.5 б). Однако после изменения деформационного состояния (на следующей ступени нагрузки) вновь отмечался прирост АЭ как реакция на такое же внешнее воздействие. Важно, что здесь прослеживается аналогия с последовательностью откликов сейсмичности на ЭВ в окнах #1-4 (т.е. в самом начале эксперимента) и #19-22 (при увеличении энерговыклада токовых импульсов). Еще одной общей чертой откликов на натурные (случай с ЭРГУ) и макетные (рис5 а) энерговоздействия является то, что и там и там проявляется последствие (некая память среды), благодаря чему реакция наступает уже после выключения источников ЭВ с задержкой, многократно превышающей времена пробега упругих волн.

Ранее неоднократно предпринимались попытки рассмотреть распределение сейсмичности как случайный, в частности, как Пуассоновский процесс. Однако при анализе суточных распределений числа землетрясений по данным KNET за 1996-1999гг было найдено, что из известных дискретных распределений случайных величин, лучше всего согласуется с наблюдениями слабой сейсмичности так называемое распределение Пойа [10]. В этот период значения доверительной вероятности согласия фактического распределения чисел землетрясений в сутки и распределения Пойа на скользящем интервале 300 суток оказалось $P > 0,82$ по критерию “хи-квадрат”. Упомянутый закон распределения описывает случайный процесс с эффектом последствия. Это принципиально важно для потока сейсмических событий, для которых афтершоки и рои землетрясений являются очевидным признаком последствия. Ранее попытки использовать наиболее известное дискретное распределение Пуассона были результативными лишь при условии предварительного исключения афтершоков из рассматриваемых временных сейсмических рядов. При применении распределения Пойа вместо Пуассоновского отпадают ограничения в интерпретации сейсмических рядов как простейшего потока случайных событий, с необходимостью характеризуемого как

стационарный ординарный поток без последствия. Это позволяет рассматривать распределение Пуассона как подходящий инструмент для анализа статистической достоверности изменений сейсмичности, в частности, вследствие энерговоздействий. Функция плотности распределения закона Пуассона, имеет вид:

$$P_m = \left(\frac{t}{1+at} \right)^m \frac{1(1+a)\dots[1+(m-1)a]}{m!} P_0, \quad (1)$$

где: P_m – вероятность того, что в единицу времени произойдет m событий, $P_0 = (1+at)^{-1/a}$ – вероятность отсутствия событий, $t = M$; $a = (D/M - 1)/M$ – параметры закона распределения, связанные с математическим ожиданием M и дисперсией D .

Рассматривая суточные распределения чисел землетрясений за 35 дневный период как возможные реализации распределения (1), можно оценить вероятность их появления. Наибольший интерес представляет расчет вероятности всплесков после ЭВ с формой как на рис.4. Вероятность реализации такого случайного всплеска, происходящего в течение $i, i+1, \dots, i+k$ суток и представляющего собой последовательность $\{m_i, m_{i+1}, \dots, m_{i+k}\}$ соответствующих чисел событий, определяется произведением: $P_{\text{ran}} = P(m_i) P(m_{i+1}) \dots P(m_{i+k})$ (Здесь подразумевается, что m превышает мат.ожидание M хотя бы для некоторых i).

Используя приведенную формулу можно подсчитать, к примеру, что для окна № 24 (рис.4) вероятность P_{ran} меньше 0,02 %. Однако для распределений, соответствующих менее контрастным откликам на ЭВ эта вероятность варьируется от единиц до десятков процентов, в то время как типичная вероятность реализации мат.ожидания $P_M \approx P_1 \sim 0,25 \div 0,35$. Поскольку для большинства окон значение мат.ожидания M близко к 1, информативной оказывается нормировка $z_{\text{ran}} = P_{\text{ran}} / (P_1)^k$. В случае окон с отчетливыми всплесками активности (рис.4) $z_{\text{ran},23} \sim 0,01$. Для менее контрастных откликов z_{ran} лежит в пределах 0,07- 0,2. А вот для спонтанных всплесков, которые иногда наблюдаются перед ЭВ (рис.4), он не опускается ниже 0,15. С учетом вышесказанного можно утвердительно ответить на вопрос о наличии корреляций между режимом слабой сейсмичности и электрическими зондирующими импульсами ЭРГУ на Бишкекском геодинамическом полигоне.

В завершение работы, переходя от конкретного вопроса о взаимосвязи слабой сейсмичности с воздействием различных физических полей к общей постановке задачи о нелинейных откликах геосреды при ее электроразведании (мониторинге с применением мощных источников энергии), можно оценить собираемые сейсмической сетью KNET данные как материалы пробного активного мониторинга. Энергия подаваемых в геосреду электромагнитных импульсов частично преобразуется в упругие возмущения. В околокритических условиях это стимулирует неупругие деформационные процессы (в частности, трещинообразование), что проявляется в микросейсмичности и сейсмоакустике. Таким образом, мониторинг можно характеризовать как активный, так как регистрируются изменения, вызванные тестирующими воздействиями. Уместна аналогия с квантовой механикой, где прибор или наблюдатель принципиально играет активную роль, там не влияющие на изучаемый объект измерения невозможны. Для кажущегося сопротивления – основного параметра электромагнитного мониторинга [2,3] – традиционный подход, при котором зондирующие электроимпульсы рассматриваются как малое, не меняющее состояние среды, возмущение остается в силе. Сам факт того, что даже при сильных землетрясениях параметры геоэлектрики обычно меняются не более, чем на 10 %, свидетельствует об отсутствии противоречий между упомянутыми трактовками одних и тех же зондирований (энерговоздействий).

Основным итогом проделанной работы является демонстрация возможности выделения корреляций изменений слабой сейсмичности с электромагнитными воздействиями при помощи методики совмещения периодов наблюдений. Полученные результаты свидетельствуют об сейсмоэлектрических эффектах, для объяснения которых необходим выход за рамки чисто механических моделей (парадигмы) сейсмических процессов. Представляется, что продолжение подобных экспериментов и сопоставление наблюдений на разных масштабах сред, в которых реализуются триггерные процессы, даст базовую информацию для становления новых моделей, эффективных для прогноза землетрясения и снижения сейсмической опасности.

Литература

1. *Авагимов А.А., Зейгарник В.А., Пономарев А.В., Соболев Г.А.*, Некоторые вопросы изменения состояния геологической среды при электромагнитном воздействии импульсами МГД-генератора//Научные труды ИТЭС ОИВТ РАН, вып. 3, 2000, С.217-224
2. *Брагин В.Д.* Активный электромагнитный мониторинг территории Бишкекского прогностического полигона.// Дисс....к.ф.-м.н., М.: ОИВТ РАН, 2001, С.13-36
3. *Волыхин А.М., Брагин В.Д., Зубович А.В. и др.* Проявление геодинамических процессов в геофизических полях. М.: Наука, 1993, 158 с.
4. *Закржевская Н.А., Соболев Г.А.* О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность.// Физика Земли, 2002, № 4, С.3-15
5. *Закупин А.С., Аладьев А.В., Богомолов Л.М., Боровский Б.В. и др.* Влияние внешнего электромагнитного поля на активность акустической эмиссии нагруженных геоматериалов// Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов, Москва- Бишкек: НС ОИВТ РАН, 2003, С 304-324.
6. *Мионов С.А., Пархоменко Э.И., Черняк Г.Я.* Сейсмоэлектрический эффект горных пород, содержащих газовую или жидкую углеводородную компоненту// Физика Земли, 1993, №11, С. 70-76
7. *Сычева Н.А., Аладьев А.В., Мухамадиева В.А., Юнга С.Л.* Изучение фокальных механизмов очагов по данным сети КНЕТ//Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов, Москва- Бишкек: НС ОИВТ РАН, 2003, С 241-253.
8. *Тарасов Н.Т.* Изменение пространственно-временной структуры сейсмичности под воздействием мощных электромагнитных импульсов//Там же, С 275-285
9. *Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В., Авагимов А.А., Зейгарник В.А.* Изменение сейсмичности Бишкекского геодинамического полигона при электромагнитном воздействии// Геология и геофизика, 2001, т.42, №10, С.1641-1649
10. *Прохоров А. В.* Пойа распределение//Математическая энциклопедия. М.: Сов. Энциклопедия, Т. 4, 1984, С. 387-388.
11. *Bogomolov L.M., P'ichev P.V., Zakupin A.S., Okunev V.I. and oth.* Acoustic emission response of rocks to electric power action as seismic- electric effect manifestation//Annals of Geophysics, 2004, V.47, No1, p. 65-72
12. *Mellors R. J., Vernon F. L., Pavlis G. L., Abers G. A., and oth.* An evolutionary programming method for estimating layered velocity structure//Bull. Seismol. Soc. Amer.,1997, V.87, No1, P.11-22.