

Секция 2 «Геофизические поля и их взаимодействие»

**ОТ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТКЛИКОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ОБРАЗЦАХ
К СЕЙСМИЧЕСКИМ ПРОЯВЛЕНИЯМ ЭЛЕКТРОТРИГГЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ**

**FROM THE STUDY OF ACOUSTIC EMISSION RESPONSES ON SPECIMENS TO
SEISMIC MANIFESTATIONS OF ELECTROTRIGGER EFFECTS**

*Л.М. Богомолов¹, Б.В. Боровский¹, В.А. Гаврилов², П.В. Ильичев¹,
А.С. Закупин¹, В.Н. Сычев¹, Н.А. Сычева¹*

¹*Научная Станция РАН, г. Бишкек*

²*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

The effect of activation of acoustic emission from loaded rocks samples, due to pulsed electromagnetic field impacts has been revealed at several laboratories (UIPE RAS, UIHT RAS, RS RAS). The effect may be considered as a fundamental to explain the reason why seismicity is influenced by electromagnetic fields of natural (magnetic storms with abrupt beginning) and man-made (electromagnetic soundings with the use of geophysical MHD-generators) origin. For further analysis of electrostimulating effect scaling and its role in earthquakes occurrence the new data on interrelations between variations of electromagnetic fields and seismicity is to be helpful. This information has been obtained at Bishkek geodynamic test site (RS RAS) during trial active seismoelectromagnetic monitoring. Currently, the electric sounding generator (ESG) is used at RS RAS for deep electromagnetic soundings. There were regimes of ESG power on in 2000 -2005, for which the energy influx to the crust exceeded that for the case of MHD runs. The analysis of diurnal distributions of North Tien Shan seismicity recorded by KNET digital telemetric network has elicited a fact that electric impacts of ESG give rise to some increment of microseismicity in 5-10 days after power action (similarly to the effect of MHD generators). This is to facilitate nonuniform overstress relaxation in geological medium. An important evidence of correlation between electromagnetic variations and that of crust destruction on some meters scale of length (intermediate scale compared with typical laboratory and natural objects size) is the results obtained at IVS FEB RAS. The results involve the synchronization of diurnal changes in natural electromagnetic field and in intensity of geoaoustic emission measured in deep borehole by sensitive geophone.

Введение

В конце прошлого века обратили на себя внимание случаи триггерного влияния на слабую сейсмичность, связанные с нестационарными электромагнитными полями (ЭМ) естественной природы (магнитные бури с резким началом) и техногенными (возбуждаемыми при электроразведках земной коры с применением геофизических МГД генераторов). Результаты подобных наблюдений изложены, например в [4]. Электрочувствительность процесса деструкции геосреды, проявлением которой являются сейсмические либо акустоэмиссионные отклики на импульсные воздействия ЭМ полей (так называемые энерговоздействия) была подтверждена в многочисленных экспериментах на образцах горных пород [3, 9]. Наряду с продолжением исследований закономерностей и механизмов воздействия ЭМ поля на источники акустической эмиссии все большую актуальность приобретают вопросы масштабирования эффектов ЭВ, органически связанные с проблемой искусственной разрядки избыточных тектонических напряжений и снижения вероятности катастрофического землетрясения. После 80-х годов МГД-генераторы уже не применяются, и представляет интерес анализ других проявлений взаимосвязи сейсмичности и импульсов ЭМ поля. В настоящей работе с этой целью рассматриваются данные сейсмического и глубинного электромагнитного мониторинга, продолжающегося на Бишкекском геодинамическом полигоне (Северный Тянь-Шань) по

сей день. Применяемый в настоящее время обычный источник (электроразведочное генераторное устройство ЭРГУ-600) имеет меньшую мощность, чем МГД-генераторы, но, благодаря его способности подавать в первичный диполь серии одинаковых импульсов, энергозатрат в геосреду выше по сравнению со случаем МГД. В некоторых экспериментальных режимах (основной предмет нашего исследования) он может достигать 10^8 Дж, т.е. порядка энергии слабого землетрясения. Электрическая энергия частично преобразуется в упругие волны, которые, как известно, могут оказывать триггерное влияние на микросейсмичность.

Важным аспектом для масштабирования эффектов ЭВ является меньшая величина напряженности электрического поля E , инициирующей отклики микросейсмичности, по сравнению с полем, стимулирующим активность акустической эмиссии (АЭ) образцов. Для первого случая, соответствующего оригинальной работе [8], напряженность E не превышает нескольких В/м. Для другого случая (лабораторный масштаб) “стимулирующее” E порядка 10^3 В/м, [9]. В недавней работе [2] намечен подход к объяснению этого обстоятельства, основанный на статистике подкритических элементов (зародышевых очагов), взаимодействующих с ЭМ полем. За счет роста числа таких элементов с увеличением объема среды электротриггерный эффект становится возможным при меньшей напряженности поля. В работе [2] продемонстрировано, что при особо благоприятных условиях наблюдения (использование высокочувствительных геофонов, снижение техногенных шумов при измерениях в глубокой скважине) на масштабах в первые десятки метров обнаруживается влияние еще более слабого естественного ЭМ поля Земли, что проявляется как синхронность вариаций уровня геоакустики и ЭМ поля. Этот результат, вместе с нижеизложенными материалами и предшествующими публикациями [1,5,6], может свидетельствовать о потенциале импульсных ЭМ полей различной природы для активного мониторинга неупругих процессов в геосреде.

Методика и результаты исследования

Для мониторинга кажущегося сопротивления геосреды, определяемого методом становления поля, на территории Бишкекского полигона каждый рабочий день проводится 7 сеансов электроразведки – на стационарный первичный диполь длиной 4200 м подаются 150 периодических знакопеременных импульсов тока прямоугольной формы с амплитудой около 600А и периодом 10 с. В 2000 – 2005 г.г. периодически проводились дополнительные зондирования, при которых макетировалась однополярная форма импульсов МГД-генераторов. Для этого с помощью того же самого источника (установки ЭРГУ-600) в тот же диполь подавалось 200 однополярных импульсов длительностью 5, 10 или 20 сек. В день проведения дополнительных зондирований энергозатрат увеличивался в 1,2- 1,6 раза (в зависимости от длительности импульсов), но во много раз возрастал электроперенос. Ниже рассматриваем такие зондирования как экспериментальные ЭВ. На первом этапе, в 2000 – 2002 г.г. с периодичностью раз в 35 дней было проведено сначала 18 сеансов ЭВ с 5 с импульсами, а затем 13 сеансов с 10 – секундными. Далее в 2003–2005 г.г. после еще 5 экспериментов с 10 с импульсами раз в 49 дней проведено еще 17 зондирований импульсами длиной 20 с. Таким образом, всего было проведено 53 экспериментальных зондирований.

Для анализа слабой сейсмичности использовался каталог землетрясений за 1994–2006 г.г, полученный по данным сети KNET (10 цифровых телеметрических станций, контролируемая ими территория показана ниже на рисунке с результатами). Диапазон представительных классов по этому каталогу $6.5 \leq K \leq 10.5$. Для выделения изменения режима сейсмичности, гипотетически связанного с ЭВ, на фоне естественных ее вариаций, использовалась методика когерентного суммирования землетрясений в пределах

временных окон шириной 35 суток, причем момент импульсного воздействия (ЭВ) приходился на середину окна. С этой целью все анализируемые периоды совмещались во времени, т.е. по каждому проводимому эксперименту из каталога проводилась выборка землетрясений, возникших в интервале $\{t_j-17, t_j+17\}$, где t_j - абсолютное время проведения j -го эксперимента ЭВ, выраженное в сутках ($j = 1,2,3,\dots$), их абсолютные времена T_i заменялись на времена $t_i=T_i-t_j$, пересчитанные относительно момента соответствующего дня эксперимента ЭВ. Землетрясения с $t_i < 0$ (возникшие до ЭВ) использовались для оценки естественного уровня сейсмичности непосредственно перед электромагнитным воздействием, а с $t_i > 0$ – для оценки наличия влияния ЭВ на сейсмичность. Всего в 2000–2005 г.г. на территории, контролируемой сетью KNET, произошло порядка 2000 сейсмических событий. В условиях, когда один из инициаторов – электроимпульсы ЭРГУ – включается более или менее периодически, а другие – удаленные землетрясения, взрывы в карьерах, ионосферные возмущения происходят нерегулярно, эта методика может быть эффективной. Подход к анализу сейсмичности, описанный выше, применялся не только для периода проведения эксперимента с ЭВ (2000 – 2005 г.г.), но и для периода перед экспериментом с целью сравнения хода сейсмичности в 35 дневных окнах с ЭВ и без него. Для этого была выбрана сейсмичность за 1998 – 1999 г.г. Такой выбор обусловлен тем, что, только начиная с июня 1998 года, сеть работает в режиме реального времени с минимальными потерями данных (качество работы сети достигает 99%). При анализе сейсмичности в 1998 – 1999 г.г. выбранный период разбивался на случайные 35-ти дневные окна, распределенные равномерно по всему интервалу.

Анализ данных методом когерентного суммирования проводился как за весь период эксперимента, так и отдельно для 18 первых ЭВ (1-18 окно), 18 вторых (19-35 окно) и 17 последних (37-53 окно). Период с днем ЭВ №36 исключен из анализа, так как вскоре после этого дня года произошло Луговское землетрясение, 22.05.2003, $K=14,6$, которое повлекло за собой афтершоки на значительной части рассматриваемой территории (что может исказить статистику откликов).

Для проверки гипотезы изменения характера сейсмичности до и после ЭВ использован критерий согласия Пирсона, устанавливающий на определенном уровне значимости согласие или несогласие гипотезы с данными наблюдений. Суть критерия Пирсона состоит в вычислении параметра χ^2 по формуле:

$$\chi^2 = (N_i - n_i)^2 / n_i, \quad (1)$$

где n_i – количество событий в исследуемом интервале при равномерном их распределении, а N_i – истинное количество событий. Малость (1) свидетельствует о достоверности гипотезы на выбранном уровне значимости. Критерий Пирсона использовался как при отображении сейсмичности в отдельных окнах, так и для результатов когерентного суммирования. При этом контролировалась устойчивость результата к изменениям выборки событий. Как и при применении метода Монте-Карло считалось, что результат, полученный по генеральной совокупности (всему каталогу), достоверный, если он подтвержден по различным выборкам. Формирование выборок сейсмических событий в узком энергетическом диапазоне и их исследование позволило не только подтвердить наличие отклика в сейсмичности после ЭВ, но определить класс сейсмических событий, наиболее чувствительных к ним.

Перед обработкой данных методом совмещения периодов строились графики сейсмичности до и после ЭВ в отдельных 35-дневных окнах, рассматривались всплески, превышающие одно, два, и три СКО. Визуально было определено, что чаще встречаются случаи, когда общее число событий после дня ЭВ превышает количество событий до него.

На рис. 1 приведено несколько таких характерных графиков. На графиках заметно различие между вызванным откликом и спонтанным всплеском, превышающим СКО.

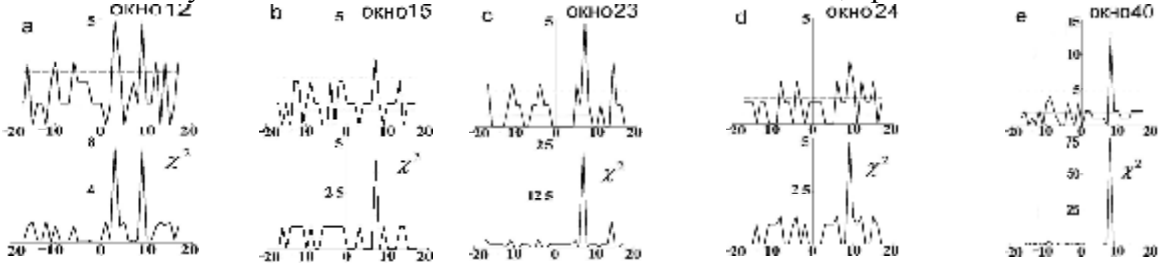


Рис.1. Распределения суточного количества событий в 35-дневных окнах (примеры явных откликов на ЭВ), обозначения а-е – в тексте. ---- СКО, найденное по первым 17 суткам до ЭВ.

На первом этапе эксперимента (пятисекундные зондирующие импульсы, окна 1-18), вариации сейсмичности нельзя рассматривать ни как однозначное подтверждение, ни как опровержение влияния ЭВ на сейсмичность (рис.1а и 1b). Вероятно, амплитуда и длительность таких импульсов соответствует пороговым значениям энерговклада для эффекта активации сейсмичности. На следующем этапе (окна 19-35), при удвоенном энерговкладе и возросшей глубине проникновения тока за счет увеличения длительности электроимпульсов до десяти секунд, триггерный эффект в режиме сейсмичности проявился достаточно отчетливо. На рис. 1с и рис.1d приведены примеры наличия этого эффекта в некоторых окнах второго этапа эксперимента. На последнем этапе эксперимента, когда длительность импульса ЭВ увеличилась с 10 до 20 с (37-53 окно) проявление триггерного эффекта стало уже существенным (рис. 1е). Отмечено, что в нескольких окнах зарегистрированы настолько отчетливые всплески сейсмической активности, коррелирующие с ЭВ (примеры приведены на рис. 1), что даже без остальной статистики они могли бы привлечь внимание к дальнейшему анализу (и объяснению) механизмов влияния электромагнитных импульсов. Следует отметить, что отчетливое проявление всплеска сейсмичности после ЭВ проявилось в тех окнах, когда в день ЭВ энерговклад был максимальным, причем именно эти окна дали основной вклад в изменения кумулятивных распределений рассматриваемых ниже.

Исследование распределения количества землетрясений в каждом отдельном 35-дневном окне $\{t_j-17, t_j+17\}$, где $t_j, j = 1, 2, 3 \dots 53$ - время очередного энерговоздействия, показало, что отклик среды на ЭВ носит неоднозначный характер. Несмотря на то, что в большинстве окон после ЭВ проявляется повышение сейсмичности, также имеются окна, в которых число событий уменьшается, или же вообще после ЭВ они отсутствуют. Для определения усредненного эффекта ЭВ все окна $\{t_j-17, t_j+17\}$ были совмещены и построены кумулятивные распределения среднесуточного количества сейсмических событий до и после ЭВ (рис.2). При построении зависимостей обрабатывались как отдельные этапы эксперимента, так и отдельные выборки сейсмических событий, сформированные по энергетическому классу К. Наличие эффекта ЭВ оценивалось визуально по графику каждой зависимости и проверялось при помощи критерия Пирсона. В целом, кумулятивные распределения на рис. 2 свидетельствуют о приросте слабой сейсмичности через 4-9 дней после ЭВ.

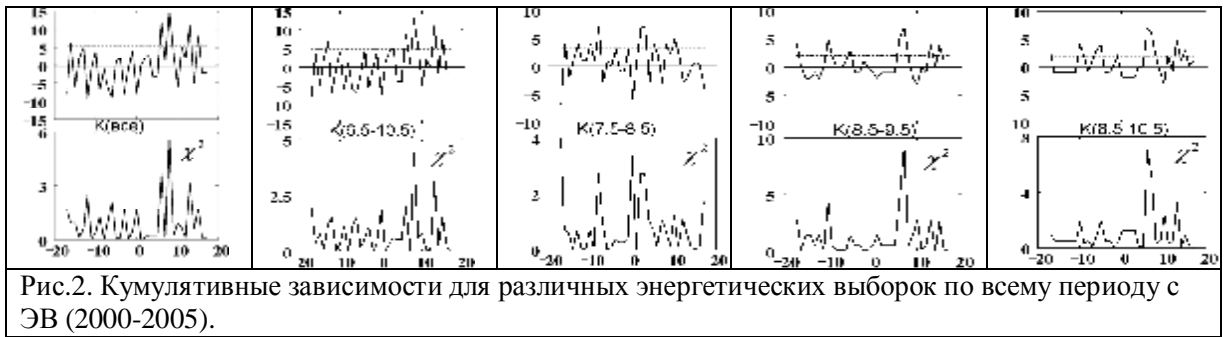


Рис.2. Кумулятивные зависимости для различных энергетических выборок по всему периоду с ЭВ (2000-2005).

Также рассматривались выборки, где исключены окна, приходящиеся на период частых гроз (май-сентябрь). Токи в грозовых разрядах достигают десятка кА, т.е. намного выше, чем генерируемые ЭРГУ импульсы в диполе. Априорно можно было бы предполагать, что именно грозы 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 с электроразрядами. Однако оказалось (рис. 3), что и после исключения грозовых месяцев эффект остается, причем различие хода графиков в полуокнах до и после дня ЭВ не становится менее контрастным. Т.е. сомнение относительно того, не наблюдается ли “замаскированный” вклад грозовых разрядов вместо зондирования было устранено.

Для сравнительной проверки такие же кумулятивные зависимости были построены и для периода 1998-1999 г.г., предшествующего экспериментальным ЭВ (рис 4). По графикам на рис.4 видно, что кумулятивные распределения сейсмичности имеют другой характер: превышения среднего уровня сейсмичности чуть выше одного СКО, причем прирост “хи-квадрат” из (1) происходит либо до фиктивного ЭВ, либо после него, но в заведомо иные дни, чем в случае рис.2, т.е. при реальных ЭВ.

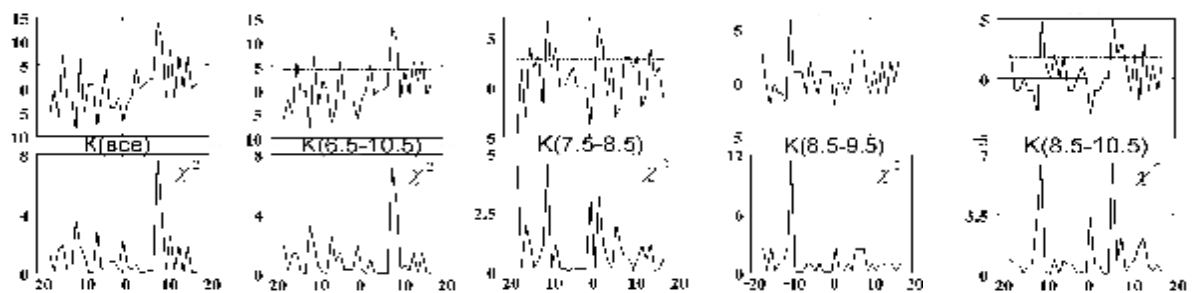


Рис.3. То же, что на рис.2, но с исключенными окнами, попадающими на летний период максимума гроз 15.05- 15.09

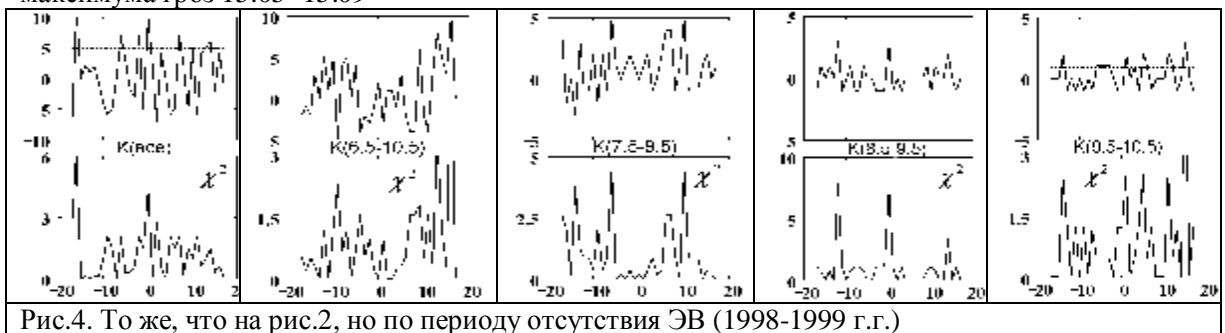


Рис.4. То же, что на рис.2, но по периоду отсутствия ЭВ (1998-1999 г.г.)

Результаты проведенного анализа сведены в табл. 1, где по каждому этапу эксперимента отмечено наличие (номер дня повышения уровня сейсмичности) или отсутствие эффекта после дня ЭВ. Также представлены результаты анализа по критерию

Пирсона: “+” означает увеличение величины «хи-квадрат» после ЭВ, “-” – отсутствие прироста этой величины. Согласно таблице на первом этапе (1-18 окна) эффект проявился только для отдельных выборок с узким значением энергетической характеристики: 8.5-9.5 и 8.5 – 10.5, что подтверждено и по критерию Пирсона. По первым двум этапам (1-35 окна) эффект стал более отчетливым на всех выборках, однако критерий Пирсона дал положительное значение только для выборок, указанных в предыдущем этапе. По сумме всех трех этапов (1-53 окна) проявление эффекта положительно как по кумулятивным распределениям, так и по критерию Пирсона.

Таблица 1. День прироста сейсмической активности после дня ЭВ на разных этапах эксперимента и наличие подтверждения по критерию Пирсона триггерного эффекта ЭВ.

Окна	1-18		1-35		1-53		19-35		37-53	
	Nd	χ^2	Nd	χ^2	Nd	χ^2	Nd	χ^2	Nd	χ^2
Весь каталог	-	-	7	-	2,7	+	5	+	8	+
6,5-10,5	-	-	7	-	2,7	+	5	+	8	+
7,5-8,5	3	-	3	-	3	+	5	-	8	+
8,5-9,5	7	+	7	+	7	+	5	-	6	+
8,5-10,5	7	+	7	+	7	+	5	-	6,8	+

Анализ отдельных этапов эксперимента (с разной длительностью импульсов) выявил следующие особенности (см. табл.1): – на первом этапе (импульсы длиной 5 с) эффект проявляется для событий более высоких классов; – далее при увеличении длительности импульса до 10 с эффект стал проявляться для самых слабых событий (6.5 – 7.5 класс) и отсутствовал для событий с более высокими классами К; на заключительном этапе (длина импульсов 20 с) эффект заметен на всех анализируемых выборках с разными классами и подтвержден критерием Пирсона. Таким образом, максимальный вклад в суммарный эффект внесен ЭВ на последнем этапе. Согласно критерию Пирсона эффект активации после ЭВ однозначно проявился при различных длительностях импульса только для выборки событий $8.5 \leq K \leq 9.5$.

Обращает на себя внимание задержка по времени, с которой происходит активация после дня ЭВ (можно также говорить о последствии импульсов ЭМ поля, хотя в лабораторных экспериментах последствие понималось несколько иначе – медленный спад активности после вызванного всплеска). Из табл. 1 видно, что времена задержки эффекта различны и составляют от 2 до 8 дней после ЭВ. Различия скорее всего зависят как от выборки классов, так и от длительности импульса ЭВ: при 5 с эффект проявляется на 7 день, при 10 с на 5 день и при 20 секундах на 8 день после ЭВ. Активация на 7-8 день после ЭВ наблюдается в 14 проанализированных выборках из 25, т.е. задержку в 7-8 суток после ЭВ с вышеуказанными параметрами можно считать типовой, наиболее частой. Если говорить о классе событий, наиболее чувствительных к ЭВ, то нельзя однозначно выделить какой-либо класс. Контрастность эффекта может зависеть от длительности импульса ЭВ, т.е. от энергии вкладываемой в среду (согласно сведениям из табл. 1), а также и от состояния самой среды. Тем не менее, по собранным данным можно говорить о диапазоне событий 8.5-9.5 класса как о наиболее универсальном показателе, откликающемся на воздействия внешнего ЭМ поля.

Помимо кумулятивных суточных распределений сейсмичности по 35 дневным интервалам рассматривалось также накопление количества событий в дни недели. Идея заключалась в том, что за редким исключением экспериментальные ЭВ проводились по средам; а в нерабочие дни не было ни однополярных, ни двуполярных зондирований. При этом, из-за модуляции суммарного энерговклада в среду и отмеченной выше типичной длительности задержки 7-8 суток (как раз около недели), можно ожидать неравномерное

распределение числа событий по дням недели. Как показано на рис 5, неравномерность действительно имеет место, причем в обоих показанных случаях (до и в течение эксперимента) минимальное накопление событий попадает на нерабочие дни. Однако в 1998 – 1999 г.г. максимум кумулятивного распределения приходился на среды, а для четвергов – локальный минимум, а в 2000-2005 наоборот – максимум на четверги и минимум на среды. Неоднородность распределения сама по себе здесь не рассматривается, в принципе она объяснима с позиций синхронизации ритмов различных процессов в нелинейных средах (при столь общем подходе остается непонятной деталь - локальный минимум на 4-й день). Принципиальное значение имеет изменение распределений событий по дням недели с началом ЭВ. С разбросом времен задержки активации после ЭВ можно связать как смещение максимум на четверг (согласуется с 8- дневной задержкой), так и исчезновение воскресного минимума (4- дневная задержка также весьма распространена). Таким образом, распределения сейсмичности по дням недели могут быть еще одним свидетельством триггерного эффекта зондирующих импульсов ЭМ поля.

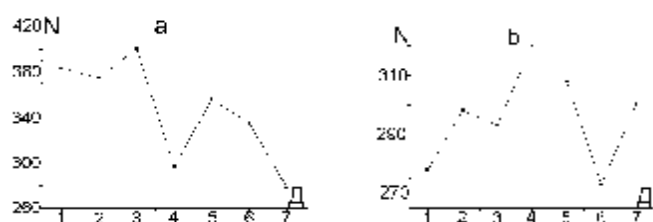
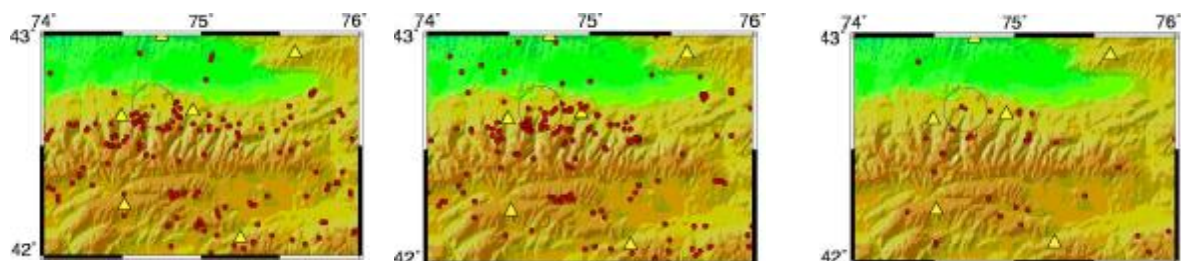


Рис.5. Распределение сейсмичности по дням недели (Д) до эксперимента (а) и в период экспериментальных ЭВ (b), день 1- понедельник, ... 7 - воскресенье.

Перейдем к обсуждению распределений слабой сейсмичности по площади и их вариаций. Этот вопрос исследовался в работе [9] для периода зондирований с использованием МГД – генераторов. Было показано, что наибольший вклад в прирост сейсмичности после ЭВ дают “активные” зоны, где и до воздействий уровень сейсмичности был наиболее высоким по региону. Такие зоны часто удалены от источника ЭВ. Аналогичные результаты о кластеризации в распределении откликов сейсмичности на ЭВ были получены в работе [6] по материалам первых двух этапов эксперимента с ЭРГУ. Однако в предыдущих работах [6, 9] не приведены результаты для ближней зоны вокруг диполя. Накопление данных за весь период 2000 – 2005 г.г. позволило осветить этот вопрос, интрига вокруг которого связана с концепцией близкодействия (странным было бы отсутствие всякого эффекта непосредственно вблизи источника, несмотря на его влияние на более удаленные области). На рис 6а,b представлены площадные распределения событий, произошедших в интервале ± 10 дней от дня ЭВ, с эпицентрами, попадающими в круг радиусом примерно 15 км с центром по месту расположения одного из полюсов питающего диполя. Стоит подчеркнуть факт отсутствия накопленных событий непосредственно вблизи источника импульсов в период перед ЭВ. Картина меняется для временного интервала после ЭВ (рис. 6b)– в центральной части круга лежит множество эпицентров событий, что (подобно кумулятивным графикам на рис. 2) свидетельствует о повышении сейсмической активности в этой ближней зоне.



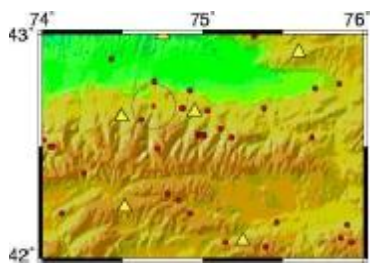


Рис.6. Распределение событий вблизи питающего диполя, накопленных в интервалы: а – перед ЭВ в период 2000-2005 г.г., б – после ЭВ в этот период, с – перед фиктивными ЭВ в период 1998-1999 г.г., d – после них. Звездочка – расположение диполя, диаметр окружность вокруг диполя ~30 км, треугольники – станции сети KNET, красные кружки – эпицентры сейсмических событий.

Чтобы проверить, не возникло ли такое перераспределение случайно, были построены аналогичные распределения за период 1998-1999 г.г. В выбранном интервале случайным образом генерировались даты “фиктивных” ЭВ, а затем, используя вышеизложенную методику, в полученных окнах строилось распределение сейсмичности. Результаты расчетов приведены на рис. бс,d. Как видно из рисунка различие в числе событий до “условного” ЭВ (б с) и после него (б d) не столь существенно, как между случаями б а и б б.

Важно отметить, что различие в контрастности проявлений эффекта ЭВ в ближней зоне и активных кластерах на удалении от диполя, может определяться особенностями напряженно-деформированного состояния геосреды. Информация об условиях деформационного режима, на который накладываются возмущения (импульсы ЭМ поля) содержится в значениях параметра Лоде-Надаи, которые можно оценить по данным о фокальных механизмах и сейсмотектонической деформации (СТД) земной коры на исследуемой территории. Воспользуемся результатами проведенных в [7] статистических расчетов СТД по данным о ~700 фокальных механизмах землетрясений слабой и умеренной силы. Полученный в этой работе результат о распределении коэффициента Лоде-Надаи по территории Бишкекского геодинамического полигона приведен на рис.7.

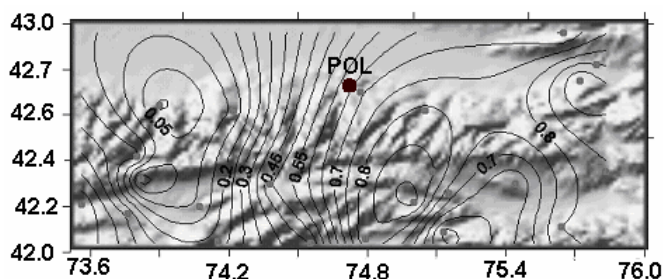


Рис.7. Распределение коэффициента Лоде-Надаи по площади Бишкекского геодинамического полигона. POL – позиция диполя

Показано, что наибольшая по площади часть исследуемой территории характеризуется деформацией сжатия ($\mu_M > 0.2$), и только небольшой район Суусамырской впадины находится в условиях сдвига ($-0.2 < \mu_M < 0.2$). Однако именно этот район является одной из активных сейсмогенерирующих зон, вклад которых определил прирост числа событий после ЭВ на кумулятивных графиках. В зоне расположения диполя коэффициент Лоде-Надаи имеет значение 0.6-0.7, что соответствует режиму сжатия.

Заключение

Основным итогом работы является демонстрация существования корреляций изменений слабой сейсмичности северного Тянь-Шаня в сейсмически спокойный период с воздействием зондирующих электроимпульсов. Это, с одной стороны, подтверждает возможность масштабирования триггерных эффектов ЭМ поля с лабораторного размера на натуральный, а с другой стороны позволяет рассматривать вариации микросейсмичности после ЭВ как материалы “активного” мониторинга. Одновременно подтверждена

резонность дальнейшего исследования круга вопросов об управляемой релаксации тектонических напряжений.

Настоящее исследование осуществлено частично благодаря гранту № 07-05-00687а Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и проекту по Программе № 15 фундаментальных исследований Президиума РАН «Разработка фундаментальных основ создания научной распределенной информационно – вычислительной среды на основе технологий GRID».

Список литературы

1. Богомолов Л.М., Авагимов А.А., Сычев В.Н., Сычева Н.А. и др. О проявлениях электротриггерной сейсмичности на Бишкекском полигоне (на пути к активному сейсмоэлектрическому мониторингу) // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли. Ред. С.В. Гольдин. – Новосибирск : СО РАН. 2005. С. 112-116.
2. Гаврилов В.А., Морозова Ю.В., Сторчеус А.В. Вариации геоакустической эмиссии в глубокой скважине Г-1 (Камчатка) и их связь с сейсмической активностью// Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С 55-67.
3. Закупин А.С., Аладьев А.В., Богомолов Л.М., Боровский Б.В. и др. Взаимосвязь электрической поляризации и акустической эмиссии образцов геоматериалов в условиях одноосного сжатия // Вулканология и сейсмология. 2006. №1. С 22-33.
4. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука. 2003. 270 с.
5. Сычева Н.А., Авагимов А.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н. и др. О корреляциях локальной сейсмичности с зондирующими электроимпульсами на Бишкекском геодинамическом полигоне // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. – Новосибирск : Изд-во СО РАН. 2003. С. 244-249.
6. Сычева Н.А., Авагимов А.А., Богомолов Л.М., Зейгарник В.А. и др. Корреляционный анализ данных KNET в связи с электроимпульсным воздействием // Геодинамика и геозоологические проблемы высокогорных регионов. Отв. ред. Гольдин С.В. и Леонов Ю.Г. – Москва-Бишкек. 2003. С. 254-275.
7. Сычева Н.А., Юнга С.Л., Богомолов Л.М., Мухамадиева. В.А. Сейсмотектонические деформации земной коры Северного Тянь-Шаня (по данным определений механизмов очагов землетрясений на базе цифровой сейсмической сети KNET) // Физика Земли. 2005. № 11. С. 62-78.
8. Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В., Авагимов А.А., Зейгарник В.А. Воздействие мощных электромагнитных импульсов на сейсмичность Средней Азии и Казахстана// Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С.152-160.
9. Bogomolov L.M., P'ichev P.V., Zakupin A.S., et.al. Acoustic emission response of rocks to electric power action as seismic- electric effect manifestation // Annals of Geophysics. 2004. V.47. N 1. P.65-72.
10. Tarasov N.T., Tarasova N.V. Spatio-temporal structure of seismicity of the North Tien Shan and its change under effect of high energy electromagnetic pulses // Annals of Geophysics. 2004. V.47. N 1. P.199-212.