

разломно-блоковых структурах формирующегося очага на всех стадиях его развития. В процессе анализа большого массива имеющихся данных экспериментальных наблюдений обнаружены различия в структуре аномальных волновых форм УНЧ геомагнитных возмущений перед «сухопутными» и «морскими» землетрясениями; получены волновые формы аномальных квазигармонических УНЧ геомагнитных возмущений перед цунамигенными землетрясениями, которые в будущем могут быть использованы в технологии краткосрочного прогноза места и времени такого класса катастрофических событий при условии привлечения дополнительной (акустической, гидроакустической, геоакустической, деформометрической и др.) прогностической информации.

Литература

1. Собисевич А.Л., Гриднев Д.Г., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х. Аппаратурный комплекс Северокавказской геофизической обсерватории // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. С. 12 – 25.
2. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями // ДАН (Геофизика). 2009. Т. 429. № 5. С. 688 – 672.
3. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Имомназаров Х.Х., Ковалевский В.В., Собисевич Л.Е., Хайретдинов С.М., Цибульчик Г.М. В кн.: Изменения природной среды и климата. Природные катастрофы. Часть 1. Под ред. академика Н.П. Лаверова. Т. 1. М.: ИФЗ РАН, 2008. С. 179 – 222.
4. Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // УФН. Т. 177. №12. 2007. С. 1250 – 1276.
5. Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. М.: Наука, 2008. 295с.
6. Копытенко Ю.А., Исмаилов В.С., Копытенко Е.А., Воронов П.М., Зайцев Д.Б. Магнитная локация источников геомагнитных возмущений // ДАН / серия «Геофизика». 2000. Т. 371. № 5. С. 685-687.
7. Fraser-Smith A.C. Ultralow-Frequency Magnetic Fields Preceding Large Earthquakes // Eos. Vol. 89. № 23. 2008. P. 211.

О ПРОЯВЛЕНИЯХ ЭЛЕКТРОСТИМУЛИРОВАННЫХ ВАРИАЦИЙ СЕЙСМИЧНОСТИ И ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ. ON THE MANIFESTATIONS OF ELECTRICALLY STIMULATED VARIATIONS OF SEISMICITY AND POSSIBLE MECHANISMS OF ELECTROMAGNETIC PULSES INFLUENCE

В.Н.Сычев¹, Л.М. Богомолов², Н.А. Сычева¹

¹ - Научная станция РАН в г. Бишкеке, Киргизстан, sychev@gdirc.ru

² - Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, bogomolov@imgg.ru

The aim of the presentation is to continue the analysis of relationship among variations of flow of weak seismic events and effect of electromagnetic fields (by the example of Bishkek geodynamic test site, Northern Tien Shan). Based results were represented on the previous, 4 -th conference (Paratunka-2007), which involved the observations that the local seismicity is influenced by some experimental electromagnetic soundings of Earth Crust with application of powerful sources of electric current. Given presentation involves new topical results. The discussion involves such aspects as observation of secondary effect of seismicity re-distribution after main response to external action. This may be an indicator of partial stress unloading. To treat the results obtained and to improve the understanding of seismic effect of electromagnetic pulses of natural and manmade origin we have developed the channel model describing the primary conversion of electromagnetic energy to oscillating (mechanical) one. The model points out a cause, why the sharpness of wave front of electromagnetic pulses can play principal part in the effect of excitation of the medium response.

В связи с вопросом о влиянии электроразондирований земной коры импульсами тока на режим слабой сейсмичности в данной работе продолжен анализ закономерностей потока сейсмических событий, зарегистрированных при помощи цифровой телеметрической сети KNET на территории Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань), где проводились такие зондирования с применением геофизических МГД-генераторов и сильноточных электроимпульсных систем. В предшествующих работах [1-3] и на предыдущей, 4-й конференции по Солнечно-Земным связям и физике предвестников землетрясений (Паратунка-2007) были представлены основные результаты о кратковременном (несколько суток) приросте микросейсмичности после экспериментальных зондирований. Для продвижения к пониманию механизмов преобразования электрической энергии в механическую (в конечном счете, в энергию сейсмоволн) определяющее значение имеют применение новых методов обработки данных и

развитие физических моделей эффекта. Этим аспектам проблемы “энерговоздействий”, ЭВ посвящена настоящая работа.

Изменение сейсмического режима.

Чтобы проследить миграцию сейсмичности построены площадные распределения числа слабых событий в узком диапазоне энергетических классов $K=8,5 - 9,5$, за период 1998-2008 гг. Для построения изолиний сейсмичности использовалась методика скользящего окна со стороной $0,5^\circ$ и сдвигом $0,1^\circ$. Исследуемый период был разбит на временные интервалы до проведения эксперимента, после него и период дополнительных воздействий, и по каждому из них получены площадные распределения слабой сейсмичности. Рассматривались только события 8,5-9,5 классов в связи с тем, что это наиболее чувствительный к воздействиям диапазон классов землетрясений. Полученный результат представлен на рис.1. Если до начала проведения эксперимента (1998-1999 гг.) область повышенной сейсмической активности в выбранном диапазоне классов находится юго-восточнее диполя, то в 2000-2005 гг. происходит смещение зоны концентрации сейсмичности на северо – запад (по направлению к источнику ЭВ). Таким образом, вполне определенно наблюдается эффект повышения сейсмической активности в непосредственной близости от питающего диполя. После завершения эксперимента в 2006-2008 гг. наблюдается тенденция к возврату зоны повышенной активности в юго-восточном направлении.

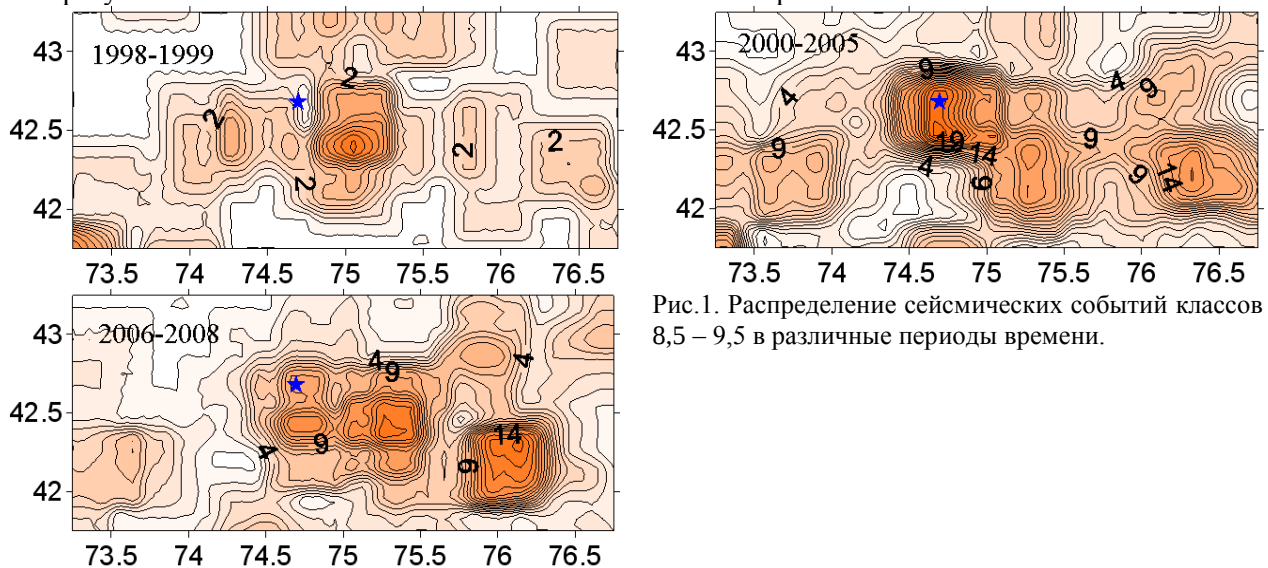


Рис.1. Распределение сейсмических событий классов 8,5 – 9,5 в различные периоды времени.

Наблюдаемая картина демонстрирует выполнение общего физического принципа близкодействия: эффект прослеживается в зоне непосредственно у источника энергии, с которым связывается причина вариаций сейсмичности.

Воспользуемся аппаратом нелинейного анализа динамических систем для проверки того, что изменение сейсмического режима носит не случайный характер, и, что в период дополнительных воздействий процесс становится более детерминированным. Рассмотрим вариант, когда не требуется восстанавливать фазовую динамику системы, подобные приемы были использованы в работе [4].

В [5] предложен метод, расширяющий возможности нелинейного анализа временных рядов и основан на фундаментальном свойстве диссипативных динамических систем – рекуррентности (повторяемости состояний). В отечественной литературе этот метод известен как метод построения математических моделей с использованием рекуррентных диаграмм. Рекуррентные диаграммы (recurrence plot, в дальнейшем RP) позволяют изучать многомерные процессы через отображение рекуррентностей траектории на двухмерную двоичную матрицу размером $N \times N$, в которой 1 (черная точка) соответствует повторению состояния при некотором времени i в некоторое другое время j , а обе оси координат являются осями времени:

$$R_{i,j} = \Theta(\epsilon_i - \| \vec{x}_i - \vec{x}_j \|), \quad i,j = 1 \dots N, \quad (1)$$

где N - длина ряда состояний x_i , ϵ_i - размер окрестности, $\| \cdot \|$ - норма.

Для анализа также использован каталог сейсмических событий за 1998-2008 гг., энергетический класс $K = 6,5 \div 10,5$. В качестве исследуемого параметра анализировались интервалы времени и расстояния между последовательными событиями. Использовались

следующие параметры окрестности текущей точки – для временных интервалов – 40 мин (время события с точностью до минуты), а для расстояний – 10км. Производился также и расчет совместных рекуррентных диаграмм по двум параметрам одновременно – по времени и по расстоянию:

$$R_{i,j} = \Theta(\epsilon_{ix} - \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|) \cdot \Theta(\epsilon_{iy} - \|\vec{y}_i - \vec{y}_j\|), \quad i,j = 1 \dots N, \quad (2)$$

где: x_i - время, y_i - расстояние.

Результаты построений приведены на рис.2-4.

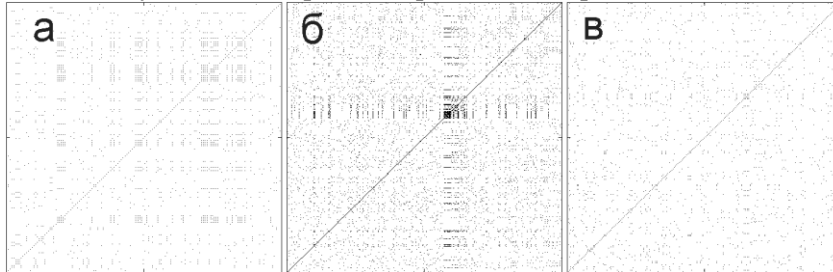


Рис.2. Рекуррентные диаграммы по временным интервалам между событиями по каталогу KNET за 1998-1999(а), 2000-2005(б) и 2006-2008(в).

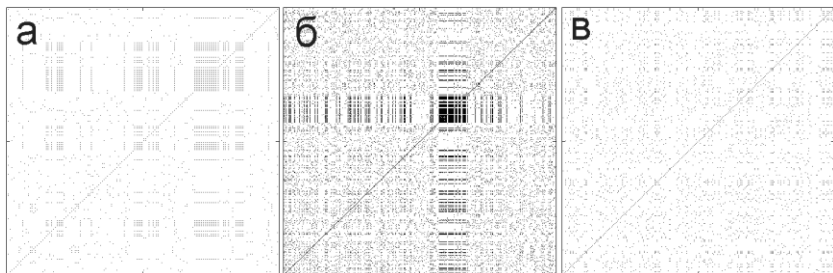


Рис.3. Рекуррентные диаграммы по расстояниям между событиями по каталогу KNET за 1998-1999(а), 2000-2005(б) и 2006-2008(в).

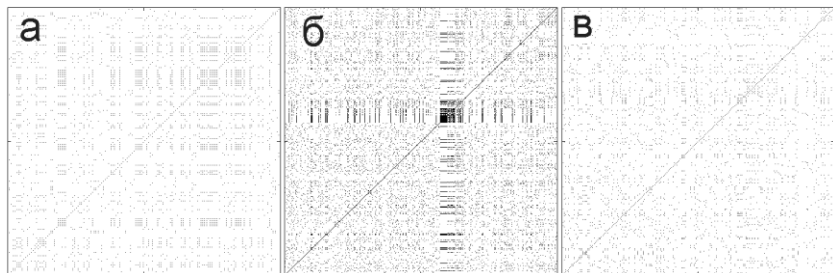


Рис.4. Совместные рекуррентные диаграммы по временным интервалам и расстояниям между событиями по каталогу KNET за 1998-1999(а), 2000-2005(б) и 2006-2008(в).

Как видно из рис.2-4, сейсмический процесс во время проведения дополнительных ЭВ на территории Северного Тянь-Шаня становится более регулярным, что может быть проявлением детерминизма в реакции среды на зондирования мощными импульсами тока.

Физическая модель.

Для объяснения механизма воздействия импульсов естественно обратиться к хорошо известному явлению стимулирования слабой сейсмичности упругими волнами либо возмущениями. Попытаемся установить источник вибраций, принимая во внимание, что для эффекта отклика слабой сейсмичности принципиальное значение имеет крутизна фронтов токового импульса и вклад энергии в среду. Токи экспериментальных сеансов ЭРГУ концентрируются в электропроводящих каналах, роль которых играют, в основном, заполненные минерализованной водой полости трещин. Распространение мощных токовых импульсов с крутыми фронтами в трещиноватой среде при заполнении трещин водой чуть менее 100% может сопровождаться нелинейными электромеханическими эффектами переходного типа, которые ранее не рассматривались применительно к энергвоздействиям. Во-первых, это пробой на фронте нарастания тока, а точнее формирование токового канала в режиме с обострением за счет быстрого исчезновения перемычек – пузырьков насыщенного пара, разделяющих отдельные столбики проводящей жидкости (рис.5а). Во-вторых, это быстрый разрыв жидкого проводника с образованием пузыря при прохождении фронта спада импульса тока, рис.5б (аналог известного эффекта взрывающейся проволоки). При вынужденном перемещении границы жидкость-пар и, тем более, раздувании/схлопывании пузыря в жидкой фазе, несомненно, возбуждаются звуковые волны. Эти волны передаются из жидкости в скелетную фазу и оказывают стимулирующее влияние на рост других трещин в окружающем объеме.

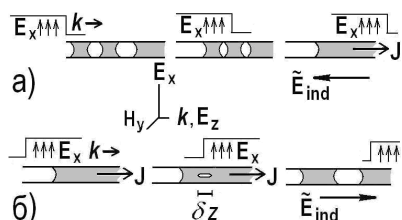


Рис.5. Схема модели канального механизма преобразования электромагнитной энергии в динамические возмущения. При распространении импульса в направлении k фронты нарастания/спада амплитуды поперечной компоненты E_x опережают фронты тока J : а) вступление мощного импульса – формирование токового канала при слиянии жидких объемов; б) разрыв токового канала после прохождения импульса.

Будем считать жидкость смачивающей и не слишком вязкой. Тогда при дилатансионном деформировании объема среды с полностью водозаполненной трещиной, длина которой стационарна ввиду равновесного состояния, жидкий объем может распадаться на несколько капель, способных перемещаться относительно стенок и друг относительно друга. При расширении полости трещины такой распад более вероятен, чем отрыв жидкости от поверхности трещины. И наоборот, при сближении боковых поверхностей частично заполненной трещины, отдельные капли могут объединяться за счет поглощения пузыря насыщенного пара. Эти эффекты, родственные кавитации, в общем случае реализуются независимо от электромагнитных зондирований, например при динамическом воздействии волн сжатия от взрыва или удаленного землетрясения. Но при распространении мощных импульсов возникновение в жидкости новых поверхностей (пузыря) может происходить за счет электромагнитной энергии. Но для этого, необходимо, чтобы высвобождение энергии при угасании тока по месту разрыва проводника превысило энергетические затраты на образование новых поверхностей. Можно записать соответствующий критерий, приравнявая по порядку величины энергию образования новых поверхностей в жидкости $W_s = 2 \gamma s \delta z$ (γ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости, δz – длина сегмента, показанная на рис.5, s - поперечный размер) и энергию тока W_J , локализованную вокруг этого сегмента. В приближении телеграфного уравнения W_J выражается через погонную индуктивность L и силу тока J по формуле $W \sim L \delta z \cdot J^2/2$. Условие $W_J > W_s$ сводится к простому выражению

$$J \geq 2 (\gamma s / L)^{1/2}, \quad (3)$$

смысл которого сходен с критерием Гриффитса – разрывная неустойчивость реализуется в ослабленных местах при локализованном накоплении там достаточной энергии. В классическом случае это происходит с трещиной, а в нашем случае – в жидкой фазе в полости трещины (рис.5 б). Если выбрать для оценки $\gamma \sim 0,05$ Н/м (вода при температуре 70-90°C), $L \sim 0,01$ - 0,1 мГн/м, $s \sim 0,1$ - 1 м, то выражение (3) будет описывать минимальную для реализации эффекта амплитуду тока в одиночном канале (полости) $J \sim 50$ А, что значительно меньше величины тока зондирования (600 А). Другим эффектом, сопутствующим быстрому пробойному формированию токового канала в слабопроводящей или диэлектрической твердой среде (помимо возникновения/схлопывания пузыря) является индукционное возбуждение противо-ЭДС в окружающей канал области, (рис.5а). Аналогично, при взрывном распаде токового канала в жидкости в области возле него будет наводиться “перенапряжение” (рис.5б). Напряженность наведенного поля может превысить амплитудное значение E в падающей волне, и его взаимодействие с пьезоэлектрическими фракциями и сторонними зарядами в скелетном веществе является еще одним фактором, вносящим вклад в возбуждение вибраций во вмещающей среде. Таким образом, нелинейные эффекты, связанные с большой мощностью токовых импульсов и крутизной их фронтов вполне могут быть кандидатами на роль механизма, объясняющего первичное воздействие электромагнитных зондирований.

Резюме.

Новое обращение к материалам экспериментальных электромагнитных зондирований и сейсмическим данным 2000-2005 гг. еще раз продемонстрировало, что возбуждение мощных импульсов тока в земной коре обладает определенным потенциалом для стимулирования слабой сейсмичности. При этом подтверждены результаты предшествующих работ о идентификации случаев кратковременного прироста суточного числа событий на территории Северного Тянь - Шаня в качестве откликов на электромагнитные воздействия. Кроме того, получены новые результаты, характеризующие такие отклики.

Литература

1. Богомолов Л.М., Сычев В.Н., Сычева Н.А., Авагимов А.А. и др. Корреляционный анализ локальной сейсмичности на Бишкекском геодинимическом полигоне в связи с проблемой активного мониторинга //

- Геофизика XXI столетия: 2005 год. Сб. трудов Седьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского. М.: Научный Мир, 2006, с.317-325.
2. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Сычева Н.А. и др. От исследований откликов акустической эмиссии на образцах к сейсмическим проявлениям электротриггерных эффектов // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Отв. ред. Шевцов Б.М. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. 2007. С.75-83.
3. Авагимов А. А., Богомолов Л. М., Зейгарник В. А., Сычев В. Н., Сычева Н.А. О триггерном влиянии электромагнитных импульсов на слабую сейсмичность в связи с проблемой разрядки избыточных тектонических напряжений // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН. 2008. С. 134-141.
4. Chelidze T., De Rubeis V., Matcharashvili T., Tosi P. Influence of strong electromagnetic discharges on the dynamics of earthquake time distribution in the Bishkek test area (Central Asia) // Annals of Geophysics. 2006. V.49. N. 4/5. P. 961-975.
5. Eckmann J.P., Kamphorst S.O., Ruelle D. Recurrence Plots of Dynamical Systems.// Europhysics Letters. 1987. V.5. P. 973-977.

**СИМВОЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ В ЗАДАЧАХ ВЫДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА
ПРЕДВЕСТНИКОВЫХ АНОМАЛИЙ ДАННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
USING SYMBOL APPROXIMATION IN THE PROBLEM OF PRECURSOR ANOMALIES
LOCATION AND ANALYSIS OF GEOCHEMICAL MONITORING DATA**

А.Б.Тристанов, П.П.Фирстов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, alextristanov@mail.ru

In this paper the approach to segmentation slowly change telemetric signals based on a method of symbol approximation is considered. The approaches stated in the report were applied to data of geochemical monitoring of Kamchatka processing.

Современные тенденции развития экспериментальной геофизической науки требует от исследователей применения эффективных методов обработки экспериментального материала. К настоящему времени наметились тенденции возрастания скорости накопления материалов по сравнению со скоростью их обработки. Тем самым возможности ручной обработки наблюдаемых временных рядов резко снижается и может использоваться исключительно на начальных этапах постановки наблюдений.

Формально цель применения математических методов для обработки данных геохимического мониторинга заключается в поиске предвестников сильных землетрясений Южной Камчатки. В ходе достижения данной цели решаются следующие задачи:

- Создание сети станций геохимического мониторинга;
- Разработка надежных методов регистрации и предобработки данных;
- Разработка формальных методов выделения предвестников;
- Разработка эффективной автоматической системы формирования прогноза.

В районе Петропавловск - Камчатского геодинамического полигона в 1997 - 2001 гг. была создана сеть пунктов мониторинга подпочвенного радона, расположение которых показано на рис.1. Опорный пункт сети находится в районе Паратунской геотермальной системы (ПРТ) в долине ручья Коркино, а остальные станции сети располагаются в различных геоструктурных элементах полигона. В пункте ПРТ кроме R_n ведется регистрация молекулярного водорода и метеорологических величин. Частота регистрации 2 цикл/сут.