геодинамические процессы в целом, а прогнозирование места отдельных землетрясений внутри динамической системы определяется с точностью до пространственных масштабов неоднородностей литосферы.

**Литература**


1. Трофименко С.В. Проявление землетрясений и их фор-афтершоков на фоне стационарного сейсмического процесса // Материалы всероссийского совещания с международным участием 18-24 сентября 2007г. «Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии».-Иркутск.- Изд-во ИЗК СО РАН, 2007.- в 2-томах.-Т.2.-С.171-175.
2. Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Никитин В.М., Муллаяров В.А. Результаты наблюдений за вариациями естественного электромагнитного поля Земли в Южной Якутии // Солнечно–земные связи и предвестники землетрясений: Материалы IV международной конференции 14–17 августа 2007г., с. Паратунка, Камчатской обл. – Петропавловск–Камчатский: Изд–во ИКИР ДВО РАН, 2007. – С. 453–458.
3. С. В. Трофименко Динамика сейсмического режима Олекмо-Становой сейсмической зоны // «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН». Материалы конференции. М.: Изд-во ИФЗ РАН. 2009. Т.2. С.403-410.
4. Трофименко С.В. Статистические модели пространственных распределений аномалий гравимагнитных полей и их отражение в структурно – тектоническом строении Алданского щита //Тектоника и глубинное строение востока Азии:VI Косыгинские чтения: доклады всероссийской конференции, 20 – 23 января 2—9, г. Хабаровск/под. ред. А.Н. Диденко, А.А. Степашко. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2009 - С. 136 – 139.
5. Трофименко С.В. Геоморфологические признаки модели поля сейсмичности Олекмо – Становой зоны // Геодинамика внутиконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: Сборник материалов 4 Международного Симпозиума, 15-20 июня 2008 г.: Москва – Бишкек; 2009, С. 241-245.
6. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита.- Тихоокеанская геология, 2010, том 29, №3, с. 64-77.


## ОБНАРУЖЕНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ ЛИТОСФЕРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
## DISCOVERY AND ALLOCATION OF ELECTROMAGNETIC SIGNALS OF LITHOSPHERIC ORIGIN


Уваров В.Н., Дружин Г.И., Мельников А.Н., Санников Д.В., Пухов В.М.
Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
uvarovvn@gmail.com



*The method of registration and allocation of near-by located sources of natural electromagnetic radiation is developed. This sources in seismically active regions with a high probability haves the lithospheres origins. The short description of this method is given. It has been executed field experiment in region with small level of technical hindrances and high level of micro seismically activity (Karimschyna, Kamchatka). A number of fragments of the received data are analyzed. The big variety of kinds of the registered signals is shown.*


Проблема сейсмоэлектромагнетизма, имеющая более чем вековую историю, по-прежнему далека от завершения. До сих пор не существует метода, обеспечивающего выделение электромагнитных сигналов литосферного происхождения из мощного маскирующего фона грозового, магнитосферного и техногенного излучения, поскольку не известны ни спектральные, ни временные параметры этих сигналов.

В настоящей работе была поставлена задача обнаружения электромагнитного излучения литосферных источников с неизвестными спектрально-временными свойствами.

Вероятность обнаружения источников сильно зависит от электромагнитной обстановки в исследуемом диапазоне частот, которая формируется естественными и техногенными электромагнитными излучениями. Доминирующая часть естественного излучения обусловлена грозовыми разрядами, расположенными главным образом в приэкваториальных областях [1], и магнитосферно-ионосферными излучениями [2]. Расстояние до этих источников измеряется сотнями и тысячами километров. В то же время источники литосферного происхождения доступны для наблюдения только в ближайшей окрестности регистратора из-за сильного поглощения сигнала в литосфере. Поэтому для их эффективного поиска следует использовать метод, который позволяет выделять близко расположенные источники.

Пространственные статистические свойства поля (функция взаимной когерентности, радиус когерентности) являются функцией расстояния от точки наблюдения до источника [3]. Это может быть использовано для выделения сигналов источников, расположенных в ближайшей окрестности приемной антенны. Кроме того, для повышения вероятности регистрации сигналов литосферного происхождения желательно использовать районы с высоким уровнем сейсмичности и низким уровнем индустриальных помех.

Поле любой системы зарядов может быть разложено по компонентам, представляющие поля систем зарядов различной мультипольности [4]. В общем случае, чем выше мультипольность соответствующей компоненты, тем меньше ее вклад в общее исходное поле. Для приемной антенны с увеличением мультипольности уменьшается объем пространства локализации доступных для измерения источников. Именно поэтому в наших исследованиях использовалась квадрупольная антенна.

Схема простейшей квадрупольной антенны, приведенная на рис. 1, представляет собой систему, состоящую из двух дипольных антенн, с равными по модулю и противоположно направленными дипольными моментами qa, разнесенными на расстояние b.

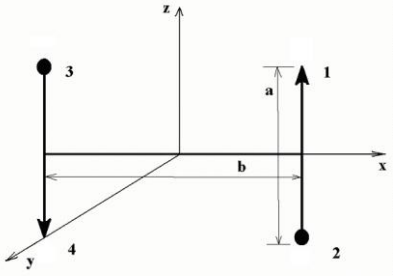


Рис. 1. Схема квадрупольной антенны.

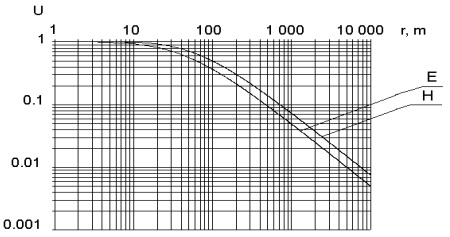


Рис. 2. Зависимость отношений ЭДС квадрупольной антенны к дипольной, при использовании параметров реальной антенны, в зависимости от расстояния до источника электрического E и магнитного H излучателей.

При регистрации поля на каждую рамку квадрупольной антенны наводится ЭДС, пропорциональная величине этого поля. В результирующем сигнале квадрупольной антенны ЭДС рамок вычитаются. Поэтому ЭДС квадрупольной антенны пропорциональна произведению пространственной производной амплитуды поля по направлению вектора, соединяющего центры рамок, на величину расстояния между рамками: $U_k \sim b\partial H/\partial r$. Тогда отношение сигналов квадрупольной и дипольной антенн $K = b\partial H/\partial r$. Магнитную рамочную антенну с достаточной степенью точности можно рассматривать как магнитный диполь, для которого [5] в горизонтальной плоскости ($\theta=\pi/2$) ближней зоны приема $K = 3b/r$. При оценке по уровню $K = 0.5$ получим характерный радиус действия квадрупольной антенны $r = 6\,b$. При использованного в эксперименте расстояния между центрами антенн $b = 25м$ радиус эффективного действия антенн $r = 150м$. Зависимость величины $K$ для источников электрического и магнитного типа [6] от расстояния представлена на рис. 2. Из рис. 2 видно, что вклад мощных удаленных источников в ЭДС квадрупольной антенны мал, по сравнению с вкладом ближних источников.

Измерения проводились в районе с высоким уровнем сейсмичности и малым уровнем промышленных помех – геофизическая обсерватория ИКИР ДВО РАН «Карымшина», находящаяся на пересечении региональных зон разломов в пределах Малко-Петропавловской зоны поперечной дислокации северо-западной ориентировки, непосредственно у подножья экструзивного купола сопки Горячая. Здесь проходит Паратунская раздвиговая зона. Благоприятная геолого-структурная позиция делает микросейсмические явления часто наблюдаемыми [7].

Исследования проводились в частотном диапазоне 10 Гц<f<10 кГц. Квадрупольная антенна состояла из двух одинаковых рамок, соединенных между собой встречно и подключенных к антенному усилителю. Эффективная площадь каждой рамки 1200 м$^2$. Расстояние между центрами рамок — 25 м. Рамки располагались горизонтально на поверхности грунта. Контроль за электромагнитной обстановкой осуществлялся с помощью системы антенн, состоящей из одной горизонтальной (аналогичной рамке квадрупольной антенны) и двух вертикальных рамочных антенн, ориентированных в широтном и долготном направлениях (каждая с эффективной площадью 10000 кв.м.). Питание аппаратуры осуществлялось от независимых аккумуляторных источников. Провода заземлений всех приборов были соединены в одной точке. Место расположения антенн

предварительно было выбрано с помощью индикатора уровня фона. Неравномерность частотной характеристики антенных усилителей в диапазоне 10 – 10000 Гц составляла не более 3 дБ. Сигналы с антенных усилителей подавались на вход 24-разрядного АЦП с частотой дискретизации 48 кГц по экранированной витой паре. Запись осуществлялась портативным компьютером типа NOTEBOOK, питавшимся от встроенных аккумуляторов. Компьютер располагался в заземленном металлическом помещении на расстоянии 20 м от антенных усилителе. Влияния импульсных помех, вызванных работой компьютера, на регистрируемый сигнал обнаружено не было. Регистрация электромагнитных излучений проводилась 14 и 15 октября 2009 г. в условиях устойчивой, ясной и безветренной погоды.

На рис. 3 приведен набор спектрохронограмм 23-секундного фрагмента записи сигналов по четырем каналам с различным частотным разрешением. Видно отсутствие заметного излучения, зарегистрированного в квадрупольном канале в диапазоне 1-10 000 Гц (панель 1,1), несмотря на мощное излучение (атмосферики), проявившихся в каналах 3 и 4, которое иногда

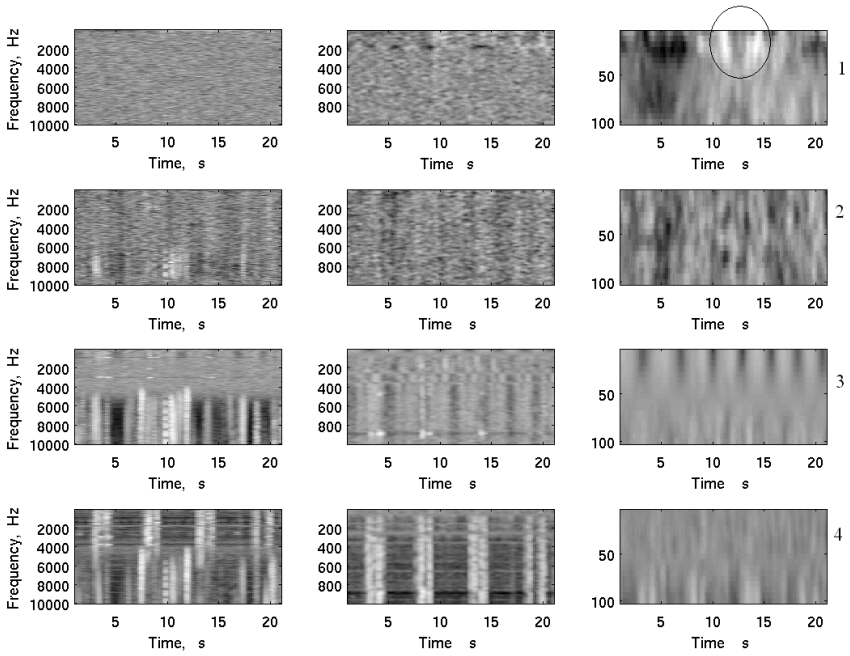


Рис. 3. Пример синхронного набора спектрохронограмм в трех частотных диапазонах 1-100 Гц, 1-1000 Гц и 1-10 000 Гц. Строка изображения спектрохронограмм квадрупольного канала обозначена цифрой 1. Цифрой 2 помечена строка канала вертикальной компоненты магнитного поля. Строки 3 и 4 соответственно относятся к каналам широтной и долготной ориентации магнитной компоненты поля. В нижней части левых панелей каналов 3 и 4 видно достаточно мощное излучение удаленных атмосфериков.

наблюдалось и в вертикальной компоненте поля (канал 2). Этот пример достаточно наглядно демонстрирует свойство квадрупольной антенны подавлять сигналы удаленных источников, например, от приэкваториальных гроз. Зато в квадрупольном канале в области низких частот (канал 1, до 40 Гц, выделено круговой линией) наблюдается всплеск излучения длительностью около 8 секунд, который не сопровождается проявлением в каналах 2, 3 и 4. В силу того, что источник этого излучения не наблюдается в дипольных каналах, он достаточно слаб. Поскольку он проявился в квадрупольном канале, он имеет достаточно большой градиент амплитуды поля,

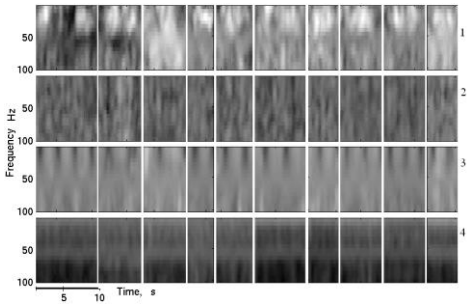


Рис. 4. Примеры низкочастотных сигналов, проявившиеся только в квадрупольном канале

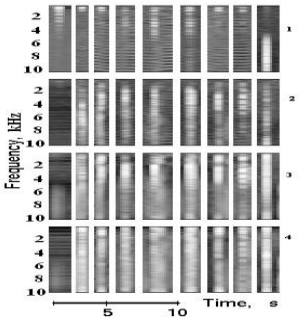


Рис. 5. Сигналы, проявившиеся как квадрупольном, так и в дипольных каналах.

что означает, что он расположен в непосредственной близости к квадрупольной антенне. Аналогичные примеры низкочастотных источников в ближайшей окрестности квадрупольной антенны представлены на рис. 4. Следует отметить, что эти сигналы имеют типичную полосу излучения около 1÷ 50 Гц и длительность 2 ÷ 10 секунд.

На рис. 5 приведены примеры сигналов, проявившиеся как в квадрупольном, так и в дипольных каналах. Отличительной особенностью возмущений, показанных на рис. 5, является наличие мощного проявления в горизонтальных дипольных каналах, в достаточно широкой полосе частот, не менее 10 кГц, при длительности всплеска около секунды. Наличие сигнала в квадрупольном канале означает, что источник расположен поблизости. Наконец, достаточно широкий диапазон сигнала в дипольных каналах (1 Гц ÷10 кГц) позволяет предполагать, что большая часть потока излучения достигла антенн, распространяясь в атмосфере.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно констатировать следующее.

Разработан метод регистрации близко расположенных источников естественного электромагнитного излучения, который позволяет выделять сигналы близких излучений из мощного фона удаленных источников.

Этот метод был применен в сейсмоактивной зоне Камчатки. Обнаружено несколько видов электромагнитных сигналов, проявившихся только в квадрупольном канале.

Обнаружены сигналы, проявившиеся только в квадрупольном, так и в квадрупольном и в дипольных каналах одновременно.

Основная энергия излучений близко расположенных источников приходилась на низкочастотный диапазон 5—1000 Гц.

Длительность сигналов от близких источников регистрировалась в диапазоне от одной до нескольких секунд.

Анализ соотношения проявлений сигналов в различных каналах позволяет заключить, что излучения, регистрируемые в квадрупольном канале, связаны с источниками литосферной природы.

Предложенный метод регистрации может быть использован с целью мониторинга геодинамической активности.

**Литература**

1. Дружин Г.И., Шапаев В.И. Роль мировой грозовой активности в формировании регулярного шумового фона // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 28, №1. С. 81-86. 1988.
2. Трахтенгерц В. Ю. О механизме генерации ОНЧ излучений во внешнем радиационном поясе Земли // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 3, С. 442-454. 1963.
3. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. М: Наука, 463с. 1972.
4. Медведев Б.И. Начала теоретической физики. Механика, теория поля, элементы квантовой механики. М: Физматлит. 600 с. 2007.
5. Айзенберг Г, З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ. Ч.1. М.: Связь, 384 с. 1977
6. Семенов Н.А. Техническая электродинамика. М:Связь. 480 с. 1973. .
7. Ворожейкина Л.А., Скоробогацко Л.С., Соколов В.А. и др. Опытно-методическая работа по применению геологоструктурных, гидрологических, геофизических и дистанционных критериев поиска термальных вод на закрытых площадях. Отчет Авачинской партии «Камчатгеологии». О результатах работ проведенных на Петропавловской площади. // п. Термальный, // ФГУ ТФИ. 1995.