

УДК 550.343+550.388+537.874

## СООТНОШЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ КАК ОБЪЕКТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ СЕЙСМОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

*В. В. Кабанов, В. М. Шарафутдинов*

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило  
ДВО РАН, г. Магадан*

E-mail: vvk20062@yandex.ru, seismolog@neisri.ru

На основе анализа данных землетрясения магнитудой  $M > 5$ , произошедшего 03.08.2010 г., разработана новая методика анализа данных сети станций сейсмоэлектромагнитного мониторинга, основанная на оценке соотношения спектральных плотностей (ССП) естественных электромагнитных сигналов (атмосфериков) в различных частотных полосах ОНЧ-диапазона (8–40 кГц) и для различных разнесенных станций. На основе данной методики обнаружен эффект уменьшения ССП для пары ближняя – дальняя к эпицентру землетрясения станция за несколько суток – 2 недели до землетрясения и быстрого увеличения ССП за несколько часов перед землетрясением. Первый эффект аналогичен краткосрочным предвестникам в выполненных ранее наземных и спутниковых исследованиях, а второй – может являться новым оперативным электромагнитным предвестником землетрясений.

**Ключевые слова:** землетрясения, электромагнитные сигналы, станции сейсмоэлектромагнитного мониторинга, соотношения спектральных плотностей, предвестники.

### ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире уже многие годы ведутся исследования по обнаружению электромагнитных эффектов, связанных с готовящимися землетрясениями. Это наземные исследования, многие результаты которых приведены в каталоге импульсных электромагнитных предвестников землетрясений (1991), а новые – в статье В. А. Муллаярова с соавторами (2011), и наблюдения за поведением проходящих через ионосферу сигналов спутников системы GPS (Пулинец и др., 2010). Основными недостатками первых являются отсутствие синхронной регистрации в разнесенных пунктах и формирование выводов на основе анализа только интегральной интенсивности принимаемых сигналов. В исследованиях второго направления обнаружены зоны ионосферных возмущений перед сильными землетрясениями, но явления имеют кратковременный, хотя и повторяющийся характер. Чтобы устранить несовершенство методики наземных исследований в 2003 г. на территории Магаданской области была создана сеть региональных станций сейсмоэлектромагнитного мониторинга (СЭМ), осуществляющая регистрацию электрической компоненты электромагнитного поля в ОНЧ-диапазоне (8–40 кГц) (Шарафутдинов,

Кабанов, 2007). Аппаратурные комплексы, описанные В. В. Кабановым и В. М. Шарафутдиновым (2007), размещены в пос. Омчак, Сеймчан и Стекольный. С 2004 г. по настоящее время сеть региональных СЭМ-станций работает в режиме круглосуточной широкополосной (в указанном диапазоне) регистрации. В 2007 г. комплексы дополнены системой временной привязки на основе меток от GPS приемника. В 2009 г. на комплексах установлены жесткие диски объемом 1000 Гб, в 2011 – 2000 Гб.

### МЕТОДИКА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

**Сбор данных.** Принцип сбора и передачи зарегистрированных сейсмоэлектромагнитных материалов в региональной сети станций электромагнитного мониторинга землетрясений на территории Магаданской области отображен на рис. 1.

На всех станциях ведется круглосуточная регистрация электрической компоненты электромагнитного поля в вышеуказанном диапазоне и данные сохраняются на внешнем диске объемом 2000 Гб. Регистрация ведется по принципу «замкнутой 30-суточной петли», т. е. через 30 суток стирается предыдущая информация и записываются следующие данные. Также каждые 30 мин сохраняются 2-минутные интервалы записей с периодом 1 год. В случае

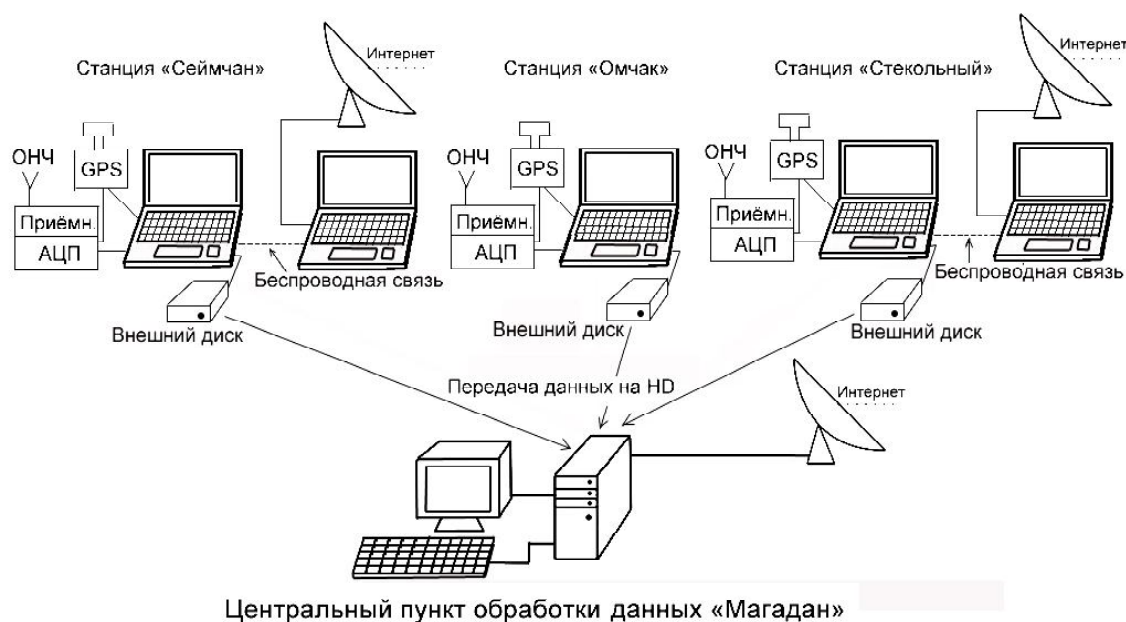


Рис. 1. Блок-схема сбора сейсмoeлектромагнитных данных в сети региональных станций электромагнитного мониторинга землетрясений

Fig. 1. Schematized collection of seismic electromagnetic data from a set of regional stations of earthquakes electromagnetic monitoring

произошедшего землетрясения, имеющего определенные пространственно-энергетические параметры ( $K \geq 11,0$ ; расстояние от ближайшей СЭМ-станции для  $K \geq 11,0 - 100$  км, для  $K \geq 12,0 - 300$  км, при  $M \geq 5,0$  – вся территория Магаданской области), дополнительно защищается от перезаписи 1–3-суточный интервал непрерывной регистрации в период подготовки землетрясения. Это позволяет каждые полгода собирать сохраненные непрерывные и выборочные данные и доставлять в центральный пункт обработки, где производится совместная обработка этих данных.

Регистрируемые данные включают собственно записи электромагнитного поля в ОНЧ-диапазоне, а также короткие бинарные файлы, где записывается положение ежесекундных меток от GPS приемника. Метки подаются на отдельный канал АЦП, и в процессе регистрации производится анализ временного ряда, содержащего метки. Моменты появления меток вычисляются автоматически, и записывается только их положение, а не весь временной ряд. GPS приемник также используется для синхронизации системного времени регистрирующего компьютера. Кроме того, имеется возможность оперативного контроля небольших выборок записываемой информации и определенного интерактивного управления СЭМ-станциями через Интернет. Подключенный к Интернету ноутбук связан с управляющим регистрацией ноутбуком с помощью канала беспроводной связи. Это уменьшает уровень помех из промышленной сети, поскольку энергопитание регистрирующе-

го комплекса осуществляется от системы переключаемых аккумуляторов (один комплект обеспечивает энергоснабжение регистрирующего комплекса, а другой – подзаряжается).

**Обработка данных.** Собранные данные сначала синхронизируются на основе меток от GPS приемника, а затем выполняется частотная фильтрация для удаления сигналов от радиостанций и других возможных узкополосных помех (например, от блоков питания стационарных компьютеров, расположенных в одном здании с регистрирующим комплексом СЭМ-станции). Фильтрация производится на основе выравнивания энергетического спектра сигнала до собственного атмосферикам вида (гладкая функция без резких спектральных максимумов). При анализе энергетического (усредненного) спектра определяются коэффициенты передаточной функции как отношение величины спектральной плотности вблизи выбросов спектра к ее значениям в удаляемом спектральном максимуме. Эта передаточная функция применяется к мгновенному спектру всей реализации, полученному с помощью Быстрого Преобразования Фурье (БПФ), после чего производится обратное преобразование. Такой метод, в отличие от полного вырезания в области спектра мешающего узкополосного сигнала, дает меньшие временные искажения.

В случае необходимости фильтруются сигналы от промышленных периодических импульсных помех частотой 50 или 100 Гц. В одном цикле обработки два этапа: на первом производится формирование наиболее типичных образ-

цов помехи на основе усреднения реализаций помехи, наиболее близких к анализируемому образцу, а на втором – компенсация импульсов помехи с использованием наиболее типичных образцов. При этом берутся только те усредненные образцы, для которых наиболее близкая корреляция с имеющейся помехой наблюдается не менее чем в 15–20% случаях. Если импульсная помеха сложная, приходящая из нескольких источников, требуется проведение нескольких циклов.

После этого выполняется взаимно корреляционный анализ записей сигналов всех трех СЭМ-станций в скользящем (с шагом 0,64 мс) интервале длительностью 5,12 мс с использованием прямого и обратного БПФ. Если взаимная корреляция для каждой базы из двух станций превышает заданный порог (зависит от уровня широкополосных помех), интервал подвергается дальнейшей обработке. В случае обнаружения групповой структуры атмосфериков анализируются варианты расширения интервала, а если такая структура не обнаружена, сразу определяется угол прихода на основе положения максимумов взаимной корреляционной функции. Эта функция оценивается как результат обратного БПФ от взаимной спектральной плотности отрезков двух реализаций (Рабинер, Гоулд, 1978).

Если ошибка определения угла прихода по разным базам не превышает порога, содержащие атмосферники интервалы и их параметры (время прихода на разные станции, взаимная корреляция и углы прихода) переписываются в отдельные файлы, которые будут подвергнуты дальнейшему анализу. Такой подход позволяет в значительной степени исключить из анализа атмосферники от ближних гроз, энергетический вклад от которых для разных станций, в первую очередь, определяется расстоянием до источника, а не условиями распространения, а также пораженные помехами интервалы и случаи перекрытия сигналов от разных источников. Количество обнаруженных дальних атмосфериков в течение 1-минутного интервала составляет от нескольких сот до нескольких тысяч. При анализе данных только одной станции и только наиболее мощных атмосфериков с уровнем выше создаваемого сигналами радиостанций фона, если отсутствуют потоки атмосфериков от тропических циклонов, их количество в течение минуты не превышает 14 (Михайлов и др., 2006).

Дальнейшая обработка выполняется на основе оценки энергетических спектров, содержащих отобранные атмосферники участков с использованием БПФ. При этом анализе определяется спектральная плотность (СП) сигналов, записанных на разных станциях в нескольких

частотных полосах (8–12, 12–20, 20–30 и 30–40 кГц). Оцениваются среднее значение спектральной плотности и ее дисперсия как для потоков атмосфериков с разных направлений, так и для записанных на станциях сигналов в целом. При этом, опять же, анализируются не все отобранные на предыдущем этапе атмосферники, а только те, для которых количество для конкретного угла (шаг дискретизации  $1^\circ$ ) в сдвигаемом временном окне не менее 20. Это позволяет дополнительно исключить случайные результаты определения угла.

Шаг сдвига временного окна спектрального анализа составляет 2 реализации длительностью 1 мин, а интервал усреднения – 2–16 реализаций, в зависимости от типа анализируемых данных (выборочные или непрерывные).

Чтобы уменьшить влияние суточных вариаций и других факторов, в дальнейшем анализе используются не абсолютные значения СП, а их соотношение для разных частотных диапазонов и СЭМ-станций. Соотношение спектральных плотностей (ССП) определяется как разность выраженных в децибелах значений усредненной СП атмосфериков для двух частотных полос (в случае одной станции) или для записей двух станций в одинаковой полосе (естественно, и в том же временном интервале). Анализ ССП (а не просто СП) позволяет значительно снизить влияние суточных вариаций интенсивности атмосфериков, а также резкого увеличения их потока при тропических циклонах (Михайлов и др., 2006). Если происходит увеличение интенсивности атмосфериков, оно вызывает увеличение СП на всех частотах, но при рассмотрении ССП сигнала для разных частотных полос остается только информация в виде зависимости СП от частоты, нивелируя изменения интенсивности сигналов от времени. Аналогично, в случае двух станций, остается информация об изменении условий распространения сигналов на трассах от источника к этим станциям. И, учитывая, что производится анализ дальних атмосфериков, эта информация соответствует региону расположения станций.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ

Методика была разработана на основе анализа данных землетрясения магнитудой  $M > 5$ , произошедшего 03.08.2010 г. в 120 км к западу от пос. Омчак. Она основывается на предыдущих результатах анализа других землетрясений, где также оценивалось ССП, но только для атмосфериков с отдельных направлений и для коротких временных интервалов. В новой редакции методики обрабатываются все зарегистрированные данные с выбором отрезков реализаций, содержащих дальние атмосферники.

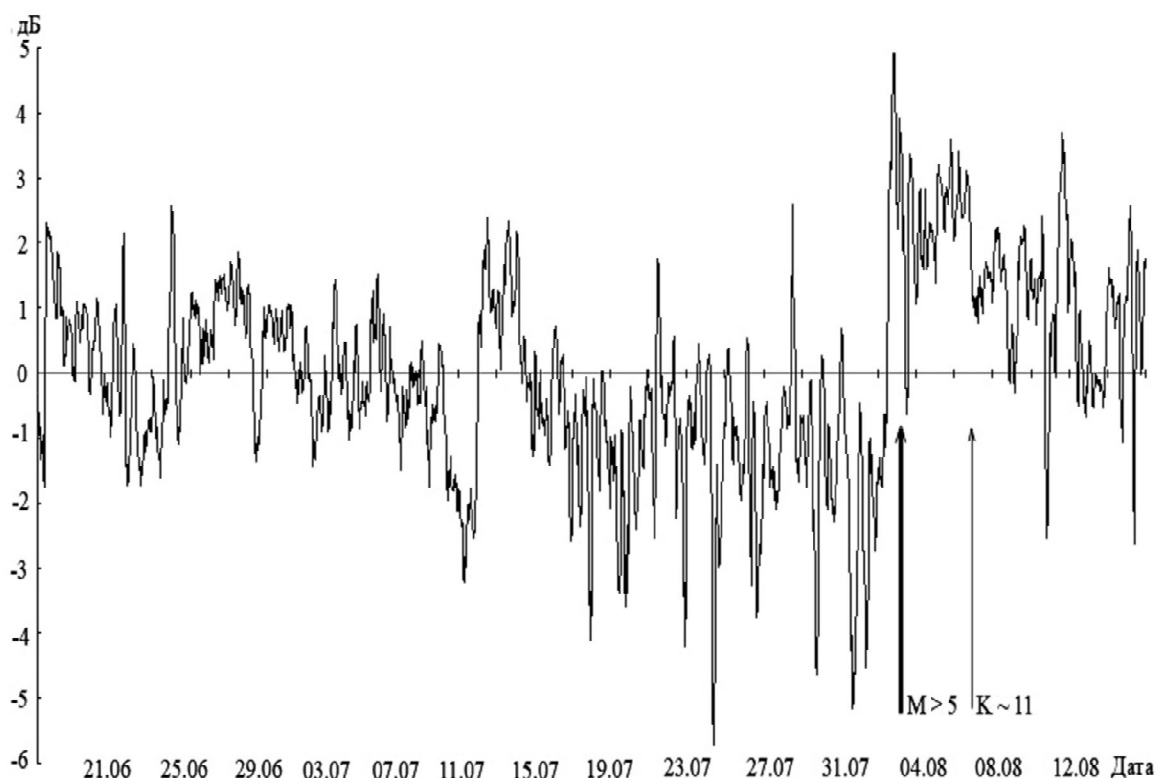


Рис. 2. Зависимость от времени ССП в полосе 30–40 кГц для станций «Омчак» и «Сеймчан» (стрелками обозначены моменты землетрясений)

Fig. 2. The SDR vs time within 30–40 kHz frequency band at Omchak and Seimchan stations (the earthquake moments are indicated by arrows)

На рис. 2 приведена зависимость ССП в полосе 30–40 кГц для СЭМ-станций «Омчак» (ближняя станция) и «Сеймчан» (удаленная станция, 360 км от эпицентра) за двухмесячный интервал, к концу которого произошло землетрясение. В этом частотном диапазоне наблюдается наиболее ярко выраженный эффект во время подготовки землетрясения. Стрелками отмечены моменты времени сильного землетрясения  $M > 5$  и произошедшего в том же районе через 92 ч слабого землетрясения. За 17 сут до толчка произошло устойчивое снижение среднего значения ССП, а за 6 ч наблюдался его резкий подъем. Отметим, что среди ССП для отдельных станций наибольшие аномалии непосредственно перед землетрясением имеют место для наиболее удаленной от эпицентра СЭМ-станции «Стекольный», хотя характер происходящих изменений становится понятным только после рассмотрения временной зависимости взаимного ССП (см. рис. 2). Также отметим, что рассмотрение временных зависимостей индексов магнитной активности для рассматриваемого периода показало отсутствие корреляции аномалий в ССП и в этих индексах. Для сравнения были проанализированы записи за аналогичные периоды 2009 и 2011 г. В 2009 г. (27 июля) на территории Магаданской области произошло землетрясение с  $M$  около 5, но на 2–

3 раза большем расстоянии от станций наблюдения. Для записей этого периода во включающем землетрясение 4-суточном временном интервале также наблюдается период пониженного ССП для пары ближняя – дальняя СЭМ-станция. А во время землетрясения происходит его небольшой выброс, хотя он не предшествует землетрясению, а сопутствует ему. Летом 2011 г. землетрясений на территории области не наблюдалось, и зависимость ССП от времени имеет характер случайных флуктуаций с амплитудой, соответствующей оным в начале записи на рис. 2. Выброс ССП перед землетрясением обнаружен и для события 19.10.2006 г., когда землетрясение  $M = 5,4$  произошло на северо-западе Магаданской области в 230 км от СЭМ-станции «Сеймчан».

С применением новой методики определенные эффекты были найдены и для более слабых землетрясений с энергетическим классом  $K = 11–12$ . На рис. 3 приведены зависимости ССП от времени для землетрясения 12.12.2005 г., произошедшего в 63 км к востоку от СЭМ-станции «Стекольный».

Таких эффектов, как на рис. 2, не наблюдается. Но перед землетрясением присутствует изменение суточного хода зависимости ССП от времени для пары станций «Сеймчан – Стекольный» в области верхних частот (30–40 кГц, HF)

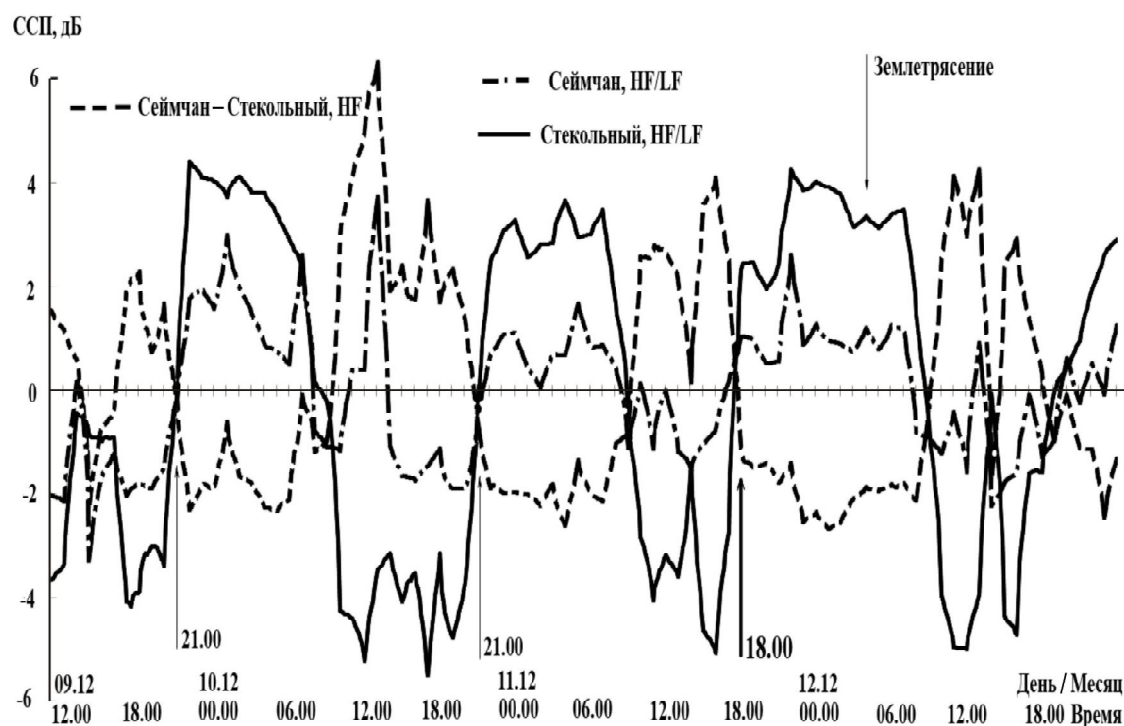


Рис. 3. Зависимость соотношения спектральных плотностей (ССП) дальних атмосфериков от времени для станций «Сеймчан – Стекольный» в области верхних частот (30–40 кГц, HF) и отдельно по каждой станции для верхних и нижних (12–20 кГц, LF) частот в период подготовки землетрясения

Fig. 3. The remote atmospheric SDR vs time at Seimchan and Stekolny stations in HF area (30–40 kHz, HF) and at each station in HF and LF (12–20 kHz, LF) areas during the earthquake preparation period

и в соотношении для верхних и нижних частот (12–20 кГц, LF) для сигнала, принимаемого на станции «Стекольный». Если в предыдущие 2 сут переход «день – ночь» происходил в 21 ч условного местного времени (+12 ч к UT), то перед землетрясением он наблюдается в 18 ч. Изменение суточного хода зависимости SSP от времени для станции «Стекольный» (а из рис. 3 видно, что все основные изменения SSP для двух станций связаны именно с эффектом на СЭМ-станции «Стекольный») может быть связано с готовящимся землетрясением. Для проверки значимости обнаруженного эффекта были проанализированы записи условно сейсмостойкого периода декабря 2009–2010 гг. И всегда переход «день – ночь» происходил в 20–21 ч. Все записи для землетрясений с  $K = 11–12$  были сделаны до 2009 г., когда не было технических средств для непрерывного сохранения данных. Только в 2009 г. благодаря установке внешних дисков объемом 1000 Гб появилась возможность автоматически сохранять выборочные данные за весь период наблюдений. Землетрясение 12.12.2005 г. единственное, для которого вручную были сохранены данные за 3 сут. Для землетрясения 17.04.2005 г. с  $K = 12$ , произошедшего в том же районе, что и землетрясение 12.12.2005 г., имеется только суточная запись, результаты обработки которой не противоречат результатам для землетрясе-

ния 12.12.2005 г., но и не могут служить для их подтверждения из-за недостаточности данных.

По результатам обработки всех данных землетрясений  $K = 11–12$  был найден еще один возможный признак сейсмической активности, заключающийся в наличии выбросов SSP для верхних и нижних частот в дневное время. На рис. 3 такие выбросы наблюдаются 09.12, 11.12 и 12.12 после землетрясения. Выброс SSP 11.12.2005 г. был рассмотрен более подробно с привлечением данных трех станций, и он обнаружен также в зависимости SSP для станции «Омчак», хотя имеет меньшую величину, чем в случае станции «Стекольный», что согласуется с ее наиболее близким к эпицентру расположением. Подобные кратковременные выбросы SSP найдены и во временных интервалах вблизи моментов двух глубинных землетрясений  $M = 6–7$ , произошедших в Охотском море на расстоянии около 1000 км от станций.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наиболее вероятной причиной аномалий SSP для варианта «ближняя – дальняя станция» является образование зоны ионосферных возмущений вокруг будущего эпицентра. Это предположение согласуется с результатами спутниковых исследований (Пулинец и др., 2010). Согласно С. А. Пулинец с соавторами (2010), радиус ( $R$ , в км) зоны, в которой появляются

аномальные вариации ионосферы над областью подготовки землетрясения, определяется зависимостью  $R = 10^{0,43M}$ . По оперативным данным Центральной геофизической службы, для землетрясения 03.08.2010 г.  $M = 5,3$ . Но Магаданская сейсмостанция после полной обработки данных сети сейсмических станций Магаданской области уточнила это значение до  $M = 6,2$ . Для первой оценки радиус зоны аномальных вариаций в ионосфере согласно приведенной формуле составляет 190 км, а для уточненной – 460 км. Расстояние от эпицентра до станции «Сеймчан» 360 км, что соответствует среднему для этих оценок. Для землетрясения 19.10.2006 г. расстояние до станции «Сеймчан» также соответствует предполагаемому размеру зоны аномальных вариаций. Для землетрясения 27.07.2009 г. расстояния до станций (минимум 370 км) превышают оцениваемый формулой радиус, но при анализе ССП все равно обнаруживаются аномальные эффекты. Это позволяет предположить, что методика на основе оценки ССП естественных электромагнитных сигналов (атмосфериков) более чувствительна к аномальным эффектам перед землетрясениями, чем на основе просвечивания ионосферы с помощью GPS сигналов (Пулинец и др., 2010).

Возможные механизмы влияния готовящегося землетрясения на ионосферу упоминаются в работе В. А. Муллаярова с соавторами (2011). В любом случае воздействие производится на нижний слой ионосферы, который и влияет на распространение атмосфериков в волноводе Земля – ионосфера. Поэтому привлечение лишних данных о верхней ионосфере в спутниковых исследованиях неизбежно приводит к «размазыванию» получаемого результата. В этих исследованиях ионосферные предвестники кратковременны (порядка 4 ч), хотя появляются ежедневно (или через день) в течение нескольких суток, обычно в одно и то же время (Пулинец и др., 2010). В нашем же случае (см. рис. 2) прослеживается непрерывная зона аномалии (пониженного ССП), завершающаяся резким подъемом ССП перед землетрясением.

Что касается землетрясений  $M < 5$ , то при спутниковых исследованиях это значение является границей, ниже которой аномалии не наблюдаются. Единственное исключение – результат, опубликованный в электронном журнале (Смирнов, 2003), где сообщается об обнаружении ионосферной неоднородности перед землетрясением с  $K = 11$ . В случае  $M = 4$  радиус зоны, согласно формуле, составляет 52 км. Примерно на таком (63 км) расстоянии от СЭМ-станции «Стекольный» произошло землетрясение 12.12.2005 г., при котором зафиксирован эффект в ССП, проявившийся, в отличие от сильных землетрясений, только в результате обработки данных этой станции.

Теперь сравним полученные на основе анализа ССП результаты с результатами, описанными В. А. Муллаяровым с соавторами (2011). В нашем случае данные анализируются, когда хотя бы одна станция находится в зоне подготовки землетрясения, в то время как в работе В. А. Муллаярова с соавторами (2011) анализируются флуктуации интегральной интенсивности атмосфериков, проходящих над зонами подготовки землетрясений на расстояниях 1900 км (Камчатка) и более от точки наблюдения. Результаты, полученные для землетрясений  $M = 5$  и более, не противоречат полученным в наших и спутниковых исследованиях. А вот те, что касаются землетрясений  $M = 4,2-4,4$ , представляются проблематичными. Так, в приведенных в конце работы результатах мониторинга землетрясений на Камчатке для пяти таких землетрясений получен положительный результат в плане существования предвестника, в то время как для остальных шести с  $M > 5$  – только в 50% случаев. Это, мягко говоря, странно. Также ничего не говорится о вероятности ложной тревоги данного метода. Возможно, все это связано с флуктуациями свойств грозового центра – источника атмосфериков. И эти флуктуации оказываются более сильными, чем вариации параметров при прохождении над зонами готовящихся землетрясений. Единственный выход из такого положения – проведение исследований на сети станций, как это выполняется в нашем случае. При этом можно будет не просто оценивать среднюю амплитуду атмосфериков на трассе, проходящей в районе будущего эпицентра (Муллаяров и др., 2011), а соотношение амплитуд атмосфериков от одного источника для разных трасс, аналогично тому, как в наших исследованиях выполняется определение ССП не только для отдельных станций, но и для сигналов, зарегистрированных на разных станциях.

Вернемся к результатам, полученным собственноручно с применением метода анализа ССП. Получен эффект понижения ССП для пары ближняя – дальняя станция за несколько суток до двух недель для двух землетрясений  $M > 5$ . В сущности, это краткосрочный предвестник, аналогичный результатам (Пулинец и др., 2010, Муллаяров и др., 2011). Но за несколько часов до землетрясения происходит быстрое возрастание ССП (то же для двух землетрясений  $M > 5$ ). Этот эффект можно назвать оперативным предвестником. И если осмыслить результаты для более слабого землетрясения 12.12.2005 г., где аномалия ССП, проявляющаяся в изменении суточного хода, а именно в возрастании ССП ранее обычного времени для ближней к эпицентру станции, то, в сущности, это является тем же оперативным предвестником. Приведенная формула для радиуса зоны аномаль-

ных вариаций ионосферы перед землетрясением из работы С. А. Пулинец с соавторами (2010) (это практически  $R = e^M$ ) получена для землетрясений с  $M$  не менее 5. В случае более слабых землетрясений, скорее, более применим критерий соответствия масштаба зоны возмущений размерам первых зон Френеля (Мулляров и др., 2011). В этом случае расстояние от эпицентра до ближайшей к нему станции «Стекольный» соответствует этому критерию, а для других – нет. И эффект для землетрясения 12.12.2005 г. проявляется в основном для ближайшей станции, в то время как для более сильных землетрясений, когда размер зоны возмущений сравним с расстояниями между станциями, – для пары ближняя – дальняя станция от эпицентра.

### ВЫВОДЫ

Разработан метод оценки соотношения спектральных плотностей естественных электромагнитных сигналов в диапазоне частот 8–40 кГц для разных частотных полос диапазона и разных пространственно разнесенных СЭМ-станций, являющийся перспективным для обнаружения возмущений электромагнитного поля, связанных с предстоящим землетрясением

С помощью данного метода для четырех землетрясений Северо-Востока России обнаружены как краткосрочные (от нескольких дней до двух недель) предвестники землетрясения, так и его оперативные предвестники (за несколько часов).

Исследования, результаты которых приведены в данной статье, выполнены за счет средств областного бюджета по Государственному контракту № 04/пр-11 от 27.04.2011 г. с Департаментом природных ресурсов администрации Магаданской области.

Поступила в редакцию 06.03.2012 г.

## SPECTRAL DENSITY RELATIONSHIPS OF NATURAL ELECTROMAGNETIC SIGNALS AS A STUDY OBJECT TO INVESTIGATE OPPORTUNITIES FOR DISCRIMINATING SEISMIC ELECTROMAGNETIC EFFECTS IN NORTHEASTERN RUSSIA

*V. V. Kabanov, V. M. Sharafutdinov*

The data obtained about the earthquake that occurred on August 3, 2010 and had magnitude  $M > 5$  served as a basis for the authors to develop a new analytical method to examine data from a set of seismic electromagnetic monitoring stations. This new method is based on the estimation of spectral density relationships (SDR) of natural electromagnetic signals (atmospherics) within different VLF bands (8–40 kHz) and at different places. Owing to this new method, the SDR lessening effect is established for the earthquake's epicenter nearest – farthest station pair from several days to 2 weeks prior to the earthquake, and also the SDR fast magnification effect is established to occur some hours before the earthquake. The first effect is a counterpart for immediate forerunners registered on surface and from satellites, and the second one is a new efficient electromagnetic forerunner of earthquakes.

**Key words:** earthquakes, electromagnetic signals, seismic electromagnetic monitoring stations, spectral density relationships, forerunners.

### ЛИТЕРАТУРА

*Кабанов В. В., Шарафутдинов В. М.* Аппаратурные комплексы региональной сети сейсмоэлектромагнитного мониторинга на северо-востоке России // Приборы и техника эксперимента. – 2007. – № 2. – С. 152–153.

*Каталог импульсных электромагнитных предвестников землетрясений / отв. ред. С. И. Зубков.* – М.: ИФЗ АН СССР, 1991. – 128 с.

*Михайлов Ю. М., Дружин Г. И., Михайлова Г. А., Капустина О. В.* Динамика грозовой активности во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэронавигация. – 2006. – Т. 46, № 6. – С. 825–837.

*Мулляров В. А., Абзалетдинова Л. М., Аргунов В. В., Корсаков А. А.* Вариации параметров грозовых электромагнитных сигналов на трассах, проходящих над областями землетрясений // Там же. – 2011. – Т. 51, № 6. – С. 841–851.

*Пулинец С. А., Бондур В. Г., Цидилина М. Н., Гапонова М. В.* Проверка концепции сейсмо-ионосферных связей в спокойных гелиогеомагнитных условиях на примере Венчуаньского землетрясения в Китае 12 мая 2008 г. // Там же. – 2010. – Т. 50, № 2. – С. 240–252.

*Рабинер Л., Гоулд Б.* Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 833 с.

*Смирнов В. М.* Интерпретация ионосферных возмущений в период слабых землетрясений // Исследовано в России [Электрон. ресурс]. – 2003. – № 12. – С. 121–129. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/artucles/2003/012.pdf>

*Шарафутдинов В. М., Кабанов В. В.* Разработка и создание региональной сети электромагнитного мониторинга землетрясений в ОНЧ-диапазоне на Северо-Востоке России // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2007. – № 3. – С. 10–16.