

УДК 551.594.11; 551.594.6

ВАРИАЦИИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ АТМОСФЕРИКОВ В ПОЛОСЕ ЧАСТОТ 8–40 кГц В ПЕРИОД ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

© 2013 г. В. В. Кабанов, В. М. Шарафутдинов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

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

vvk20062@gmail.com, seismolog@neisri.ru

Поступила в редакцию 17.05.2011 г.

После доработки 15.10.2012 г.

Получены оценки и произведен анализ соотношения спектральных плотностей дальних атмосфериков в частотных диапазонах 8–12; 12–20; 20–30 и 30–40 кГц на разнесенных на 250–300 км станциях сейсмоэлектромагнитного мониторинга в период подготовки трех землетрясений с магнитудой 5–6.2. Показано, что для верхних частот диапазона наблюдается устойчивое снижение соотношений спектральных плотностей для пары ближняя и дальняя станции за несколько суток (до 2–3-х недель) до землетрясения, а за несколько часов до толчка происходит быстрый подъем данного соотношения, что может быть соответственно признаком краткосрочного и оперативного предвестников землетрясения.

DOI: 10.7868/S0016794013030103

1. 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 работе [Каталог..., 1991], и более современные – в работе [Муллаяров и др., 2011], а также исследования сигналов системы GPS, например, работа [Пулинец и др., 2010]. Основным недостатком первой серии наблюдений является отсутствие синхронной регистрации дискретных сигналов в разнесенных пунктах и локализации их источников [Каталог..., 1991]. В исследованиях второй серии обнаружены повторяющиеся, но кратковременные ионосферные возмущения перед сильными землетрясениями.

Для усовершенствования методики наземных исследований в 2003 г. на территории Магаданской обл. была создана сеть региональных станций сейсмоэлектромагнитного мониторинга (СЭМ), реализующая регистрацию электрической компоненты электромагнитного поля в диапазоне 8–40 кГц [Шарафутдинов и Кабанов, 2007]. Аппаратурные комплексы, описанные в работе [Кабанов и Шарафутдинов, 2007], размещены в поселках Омчак, Сеймчан и Стекольный. В 2007 г. комплексы дополнены системой привязки по времени с использованием GPS-сигналов. С 2009 г. ведется накопление и сохранение записей сигнала в выбранных временных интервалах, а также регуляр-

ных круглосуточных 2-минутных записей с интервалом 30 мин.

На рисунке 1 приведена карта расположения СЭМ-станций и эпицентров землетрясений относительно этих станций.

Цель работы: исследование сейсмогенных эффектов в вариациях спектральной плотности мощности дальних атмосфериков с использова-

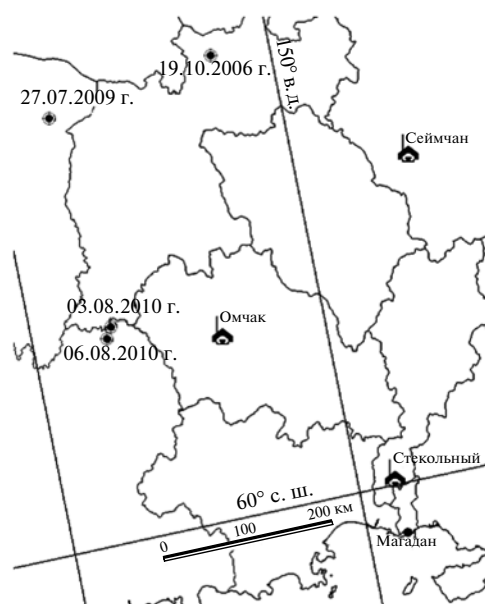


Рис. 1. Карта расположения эпицентров землетрясений (кружки) относительно СЭМ-станций (домики).

Параметры землетрясений с $M \geq 5$, произошедшие на территории Магаданской обл. в 2006–2010 гг.

Дата	Время LT = UT + 12	Географические координаты		Расстояния до СЭМ-станций (км)			M*
		φ° , N	λ° , E	Сеймчан	Стекольный	Омчак	
03.08.2010 г.	02:17	61.78	145.57	360	350	120	6.2
06.08.2010 г.	22:32	61.87	145.53	372	345	125	K = 11
27.07.2009 г.	12:15	63.96	145.27	370	520	—	5
19.10.2006 г.	19:15	64.09	149.17	230	470	—	5.1

Примечание. * По отчетам Магаданского филиала ГС РАН,

“—” нет записей на региональной станции сейсмоэлектромагнитного мониторинга.

нием созданной сети СЭМ-станций и разработанной новой методики обработки.

2. ИСХОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОД ОБРАБОТКИ

В таблице приведены параметры землетрясений и расстояние от эпицентров до станций.

Для землетрясения 03.08.2010 г. анализ основывается на выборочных записях, сделанных в период с 19.06. по 16.08.2010 г. с интервалом 30 мин, а также данных непрерывной регистрации с 00:00 LT 31.07. по 08:00 LT 03.08.2010 г. Для землетрясений 27.07.2009 г. использовались выборочные записи в период с 14.07. по 31.07.2009 г. И для землетрясения 19.10.2006 г. анализировались непрерывные записи с 20:00 18.10. по 20:00 19.10.2006 г. Для сравнения анализировались выборочные и непрерывные записи в сейсмо спокойные периоды.

Собранные с СЭМ-станций данные сначала синхронизируются на основе меток от GPS-сигналов, а затем фильтруются для удаления сигналов от радиостанций и других возможных узкополосных помех (например, от блоков питания стационарных компьютеров, расположенных в одном здании с регистрирующим комплексом). В случае необходимости производится также и фильтрация сигналов от промышленных периодических импульсных помех с частотой 50 или 100 Гц. Далее выполняется взаимный корреляционный анализ записей сигналов всех трех СЭМ-станций в скользящем временном окне 5.12 мс (с шагом 0.64 мс) с использованием алгоритма прямого и обратного БПФ. Если величина взаимной корреляции для каждой пары станций превышает заданный порог (он зависит от уровня широкополосных помех), то на основе положения максимумов взаимной корреляционной функции определяется угол прихода сигналов. В случае обнаружения групповых атмосфериков увеличивается длительность временного окна.

Если ошибка определения угла прихода по разным парам СЭМ-станций не превышает за-

данного порога, время прихода атмосфериков на разные станции, величина их взаимной корреляция и углы прихода переписываются в отдельные файлы для их дальнейшего анализа. Такой метод обработки позволяет исключить из анализа атмосферерики от ближних гроз, а также от помех различной природы. Поток выделенных дальних атмосфериков в одну минуту составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч. При анализе записей наиболее мощных атмосфериков только на одной станции при отсутствии потоков атмосфериков от тропических циклонов их количество в течение минуты не превышает 14 [Михайлов и др., 2006а].

В качестве примера предложенного метода обработки на рис. 2 приведена последовательность атмосфериков, зарегистрированных на трех станциях на основе взаимно корреляционного анализа. Получено, что атмосферерики порождены грозовым центром, расположенным в юго-западном направлении от сети СЭМ-станций. Видно, что уровень атмосфериков существенно превышает естественный фон. Именно такие записи отбираются для дальнейшего анализа. Этап взаимного корреляционного анализа является последним, где идет модификация временных реализаций.

Далее с использованием алгоритма БПФ определялась спектральная плотность (СП) сигналов, записанных на разных станциях в нескольких частотных поддиапазонах (8–12; 12–20; 20–30 и 30–40 кГц). Оценивалось среднее значение СП и ее дисперсия как для потоков атмосфериков со всех направлений, так и для выделенных направлений. При этом анализировались не все отобранные на предыдущем этапе атмосферерики, а только те, для которых количество для конкретного угла (шаг дискретизации 1 градус) в сдвигаемом временном окне было не менее 20. Это позволяло в значительной степени дополнительно исключить случайные результаты определения угла.

Для разных землетрясений имелось два типа записей: в непрерывном режиме разной продолжительности и выборочном в течение 2 мин через каждые 30 мин. Шаг сдвига временного окна дли-

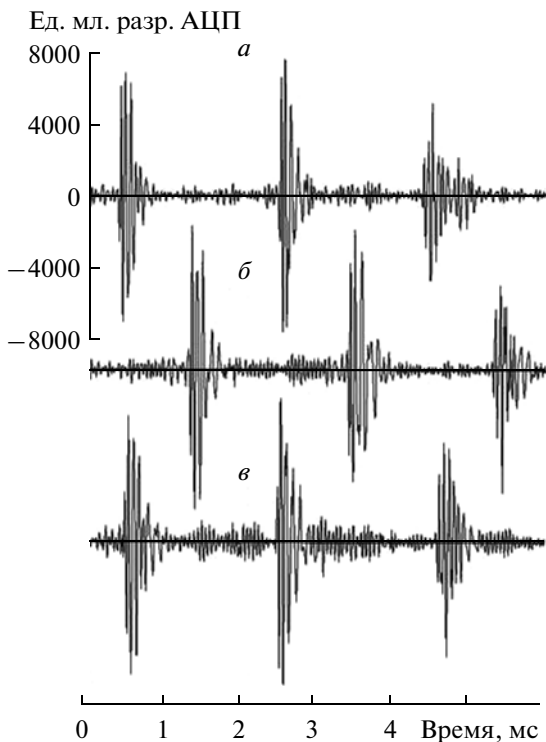


Рис. 2. Пример временной последовательности зарегистрированных на трех станциях атмосфериков, отобранных на основе взаимного корреляционного анализа.

тельностью 16 мин в первом случае составлял две минуты, а во втором — 30 мин (длительность “окна” четыре часа, но количество анализируемых минут также 16).

Для ослабления влияния суточных вариаций интенсивности атмосфериков и других факторов в дальнейшем анализе использовались не абсолютные значения СП, а их соотношение для разных частотных диапазонов и станций. Соотношение спектральных плотностей (ССП) определялось 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 позволил в значительной степени снизить влияние суточных вариаций интенсивности атмосфериков, а также влияние резкого увеличения их потока при тропических циклонах [Михайлов и др., 2006а]. При усилении интенсивности атмосфериков усиливается 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 до этих станций.

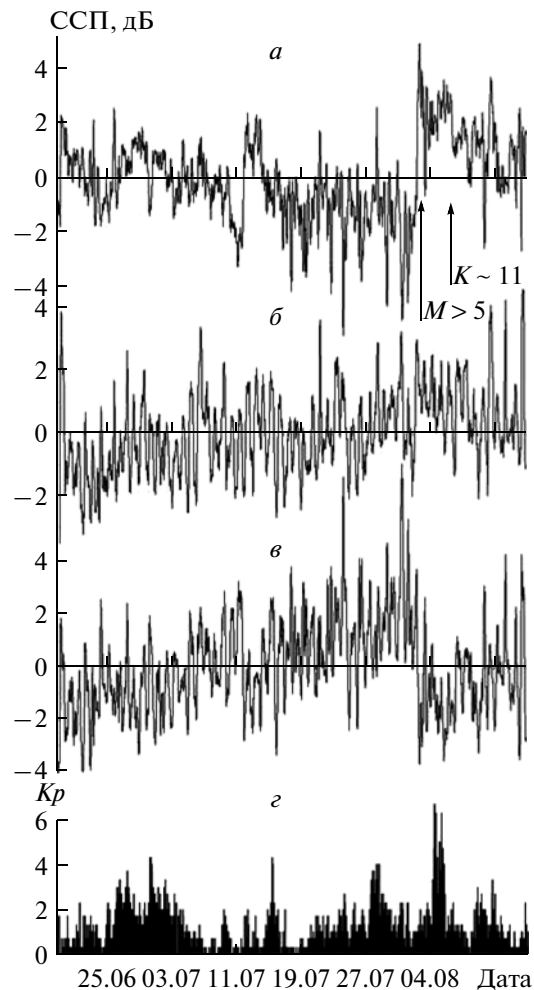


Рис. 3. Зависимости ССП в полосе 30–40 кГц от времени для периода с 17.06.2010 г. по 15.08.2010 г. для пар СЭМ-станций Омчак и Сеймчан (а), Омчак и Стекольный (б), Сеймчан и Стекольный (в), а также для индекса геомагнитной активности K_p (z).

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее выраженные аномальные эффекты, не связанные с суточными вариациями, в зависимости спектральных плотностей от времени были получены для землетрясения 03.08.2010 г. в частотной полосе 30–40 кГц. Именно на верхних частотах полосы приема наблюдается наибольшая зависимость амплитуды сигналов от наличия неоднородностей ионосферы. Так, для случая японской станции сигналов точного времени, работающей на частоте 40 кГц, происходят достаточно глубокие замирания сигнала в моменты прохождения терминатора над передающей и приемными станциями. На рисунке 3 приведены центрированные относительно среднего значения зависимости от времени для соотношений спектральных плотностей (ССП) дальних атмосфериков в полосе 30–40 кГц для пар СЭМ-станций Омчак и Сеймчан (а), Омчак и Стекольный (б), Сеймчан и Стекольный

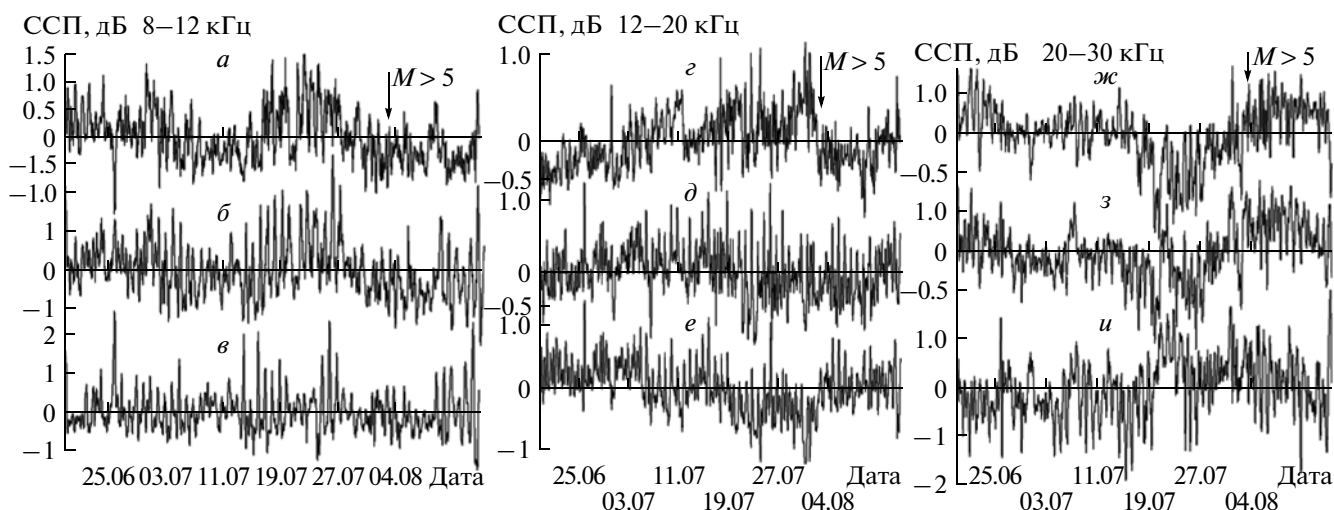


Рис. 4. Зависимости ССП в различных поддиапазонах от времени для периода с 17.06.2010 г. по 15.08.2010 г. (8–12 кГц – *а, б, в*; 12–20 кГц – *з, д, е*; 20–30 кГц – *ж, з, и*) для пар СЭМ-станций Омчак и Сеймчан (*а, з, ж*), Омчак и Стекольный (*б, д, з*), Сеймчан и Стекольный (*в, е, и*).

(*в*), а также для индекса магнитной активности Kp (*з*). Отмечены моменты землетрясений с $M > 5$ и произошедшего через 92 ч в том же районе более слабого землетрясения. Необходимо отметить, что эпицентры этих землетрясений расположены в зоне пересечения двух региональных глубинных разломов (Верхнекулинского и Майско-Ульбекского [Кузнецов, 2008]).

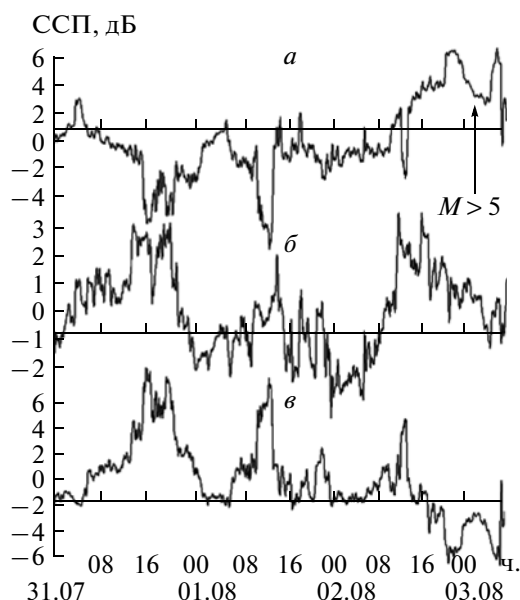


Рис. 5. Зависимости ССП в поддиапазоне 30–40 кГц от времени для периода с 00:00 ЛТ 31.07.2010 г. по 08:00 ЛТ 03.08.2010 г., полученные на основе анализа непрерывных записей, для пар СЭМ-станций Омчак и Сеймчан (*а*), Омчак и Стекольный (*б*), Сеймчан и Стекольный (*в*).

На рисунке 3*а* четко выделяются аномалии в ССП перед землетрясением. Сначала произошло снижение ССП (явно за 17 сут и, возможно, с этим процессом связан отрицательный выброс еще 6 сут ранее), а перед землетрясением это соотношение резко возросло (за 6 ч до толчка). Обратная, хотя существенно менее четкая зависимость, прослеживается на рис. 3*в*. На рисунке 3*б* отличия от случая естественных флуктуаций слабые, хотя можно обратить внимание на временной интервал, начинающийся за 8 сут до землетрясения. Явной связи отмеченных аномалий с магнитной активностью не прослеживается. Отметим, что каждая точка (всего 2785 точек) получена на основе усреднения спектральных плотностей от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч атмосферфериков.

На рисунке 4 приведены зависимости ССП в других частотных поддиапазонах для пар СЭМ-станций Омчак и Сеймчан (*а, з, ж*), Омчак и Стекольный (*б, д, з*), Сеймчан и Стекольный (*в, е, и*). Для случая поддиапазона 12–20 кГц для баз, включающих СЭМ-станцию Сеймчан (рис. 4*г, е*), отмечаются изменения ССП, обратные случаю поддиапазона 30–40 кГц и значительно более слабые. Можно отметить также аналогичное рис. 3*а* понижение ССП для поддиапазона 20–30 кГц на рис. 4*ж*, но оно также менее выражено, а четкое возрастание ССП перед землетрясением отсутствует. Все изменения ССП на рис. 4 происходят в диапазоне интенсивности от -1 до 1 дБ, в то время как для рис. 3 – в диапазоне от -2 до 4 дБ.

На рисунке 5 приведены зависимости ССП от времени в поддиапазоне 30–40 кГц, полученные при обработке данных непрерывной записи с временным “окном” 16 мин. Величины по оси орди-

нат соответствуют центрированию относительно среднего значения для данного интервала анализа, положение оси абсцисс — среднему значению за весь период наблюдения. Характер возрастания ССП перед землетрясением на рис. 5а (Омчак—Сеймчан) несколько отличается от случая рис. 3а, полученного при временном “окне” 4 ч. Оно не столь резкое, но и начинается на 6 ч раньше. На рисунке 5б (Омчак—Стекольный) преобладают суточные колебания ССП, хотя можно отметить несколько более низкие значения ССП с 00 ч 01.08 до 08 ч 02.08. На рисунке 5в (Сеймчан—Стекольный) характер поведения ССП обратный случаю рис. 3а, но также менее ярко выражен, как и для зависимостей на рис. 3.

Сравнивая зависимости поведения ССП для разных СЭМ-станций на рисунках 3 и 5, можно заметить, что основной вклад в их аномальное поведение дают изменения спектральной плотности дальних атмосфериков, принимаемых в Сеймчане. На рисунке 6а показана зависимость от времени для ССП, центрированного относительно среднего значения, в поддиапазонах 30–40 кГц и 12–20 кГц для СЭМ-станции Сеймчан, а на рис. 6б и в — для СЭМ-станций Омчак и Стекольный. На рисунке 6а изменения ССП четко выделены. Но следует отметить, что это результат оценки спектральной плотности не просто по данным одной станции, а после отбора дальних атмосфериков на основе оценки взаимной корреляции сигналов трех станций. На рисунках 6б и в имеются низкочастотные компоненты во временной зависимости ССП, но связь их отдельных интервалов с землетрясением можно предположить только на основе совместного рассмотрения с рис. 6а. Отдельные короткие выбросы ССП обусловлены достаточно близкой грозовой активностью, полностью устранить ее влияние не удастся.

Анализ записей трех СЭМ-станций, сделанных летом 2009 г. в сейсмостойкий период (примерно две недели), показал отсутствие аномалий ССП. А вот в районе землетрясения с $K = 12.4$, произошедшего 27.07.2009 г., был обнаружен спад ССП, подобный наблюдаемому на рис. 3а. На рисунке 7 приведена временная зависимость ССП для СЭМ-станций Сеймчан и Стекольный, полученная на основе анализа записей двух станций с временным “окном” 4 ч. Спад ССП начинается за 2.5 сут и заканчивается через 1.5 сут после землетрясения. Перед землетрясением имеется всплеск ССП, но он связан не с процессом подготовки, а с самим землетрясением, поскольку начинается с момента захвата “окном” самого толчка. Возможно, если бы имелись непрерывные записи, перед землетрясением обнаружили бы явления, связанные с готовящимся событием, как это наблюдается на рис. 5 по сравнению с рис. 3.

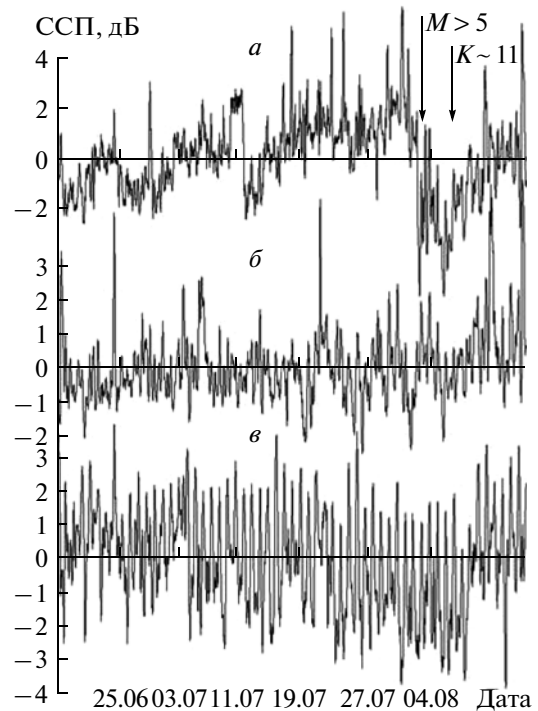


Рис. 6. Зависимости ССП в поддиапазонах 30–40 и 12–20 кГц от времени для периода с 17.06.2010 г. по 15.08.2010 г. для СЭМ-станций Сеймчан (а), Омчак (б), и Стекольный (в).

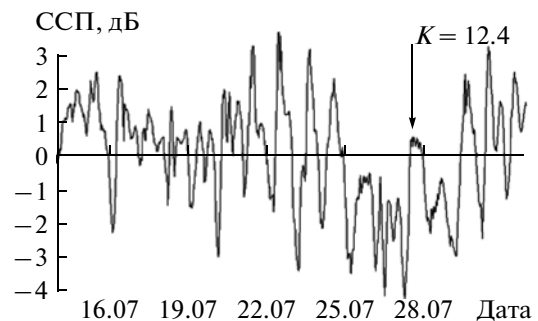


Рис. 7. Зависимость ССП в поддиапазоне 30–40 кГц для СЭМ-станций Сеймчан и Стекольный от времени для периода с 14.07.2009 г. по 01.08.2009 г.

Для землетрясения 19.10.2006 г. с $M = 5.1$ имеется только суточная запись для двух станций. На рисунке 8а приведена временная зависимость ССП для СЭМ-станций Сеймчан и Стекольный, полученная с использованием временного “окна” длительностью 4 ч. Землетрясение произошло в 19:15 19.10.2006 г., и захват времени толчка начинается соответственно с 15:30 19.10.2006 г. Но устойчивое возрастание ССП начинается на три часа ранее. На рисунке 8б приведена зависимость ССП для записей, сделанных через двенадцать дней, где наблюдаются только хаотические изменения ССП в диапазоне интенсивности от

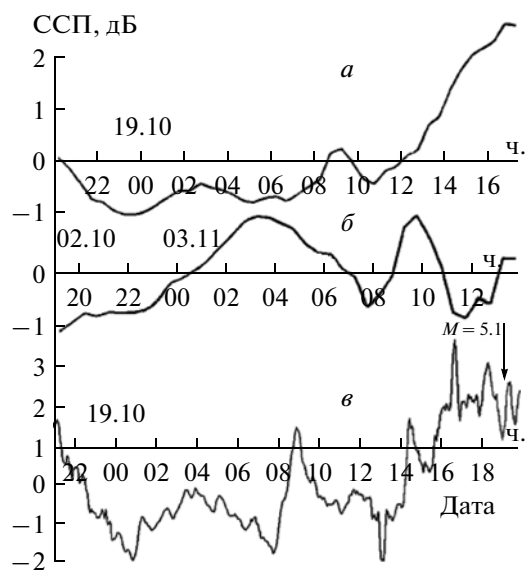


Рис. 8. Зависимость ССП в поддиапазоне 30–40 кГц для СЭМ-станций Сеймчан и Стекольный от времени для периодов 18–19.10.2006 г. (а), 02–03.11.2006 г. (б) и 18–19.10.2006 г. (в) с использованием данных непрерывной регистрации.

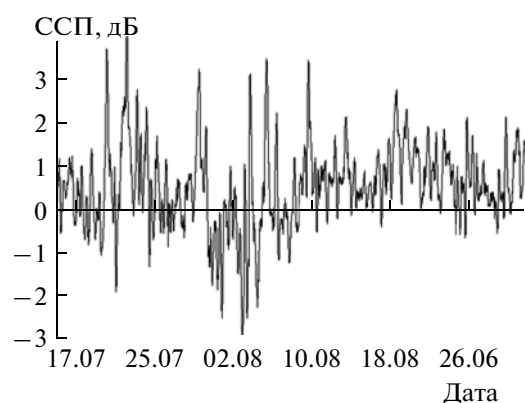


Рис. 9. Зависимость ССП в поддиапазоне 30–40 кГц для СЭМ-станций Омчак и Сеймчан от времени для периода с 15.07.2011 г. по 31.08.2011 г.

–1 до 1 дБ. На рисунке 8в показана временная зависимость ССП, полученная при полной обработке записей землетрясения 19.10.2006 г. с временным “окном” 16 мин. За 3.5 ч до толчка наблюдается устойчивое повышение ССП.

И, наконец, на рис. 9 для сравнения приведены зависимости ССП для СЭМ-станций Сеймчан и Стекольный в сейсмический период лета 2011 г. В начале августа наблюдается десятидневное понижение ССП, подобное наблюдаемому перед землетрясением 03.08.2010 г., но возврат к нормальным значениям более плавный. Кроме того, как показал визуальный спектрально-временной анализ записей, это понижение (а также выбросы ССП)

связаны с неполным подавлением нестационарной компоненты импульсной периодической промышленной помехи. Для всех записей 2011 г. потребовалось использование программы подавления такой помехи, в то время как для записей 2009–2010 гг. использование этой программы практически не требовалось. Если не рассматривать скачки ССП, связанные с помехой, то колебания ССП лежат в диапазоне интенсивности 2 дБ, в то время как перед землетрясениями (рисунки 3, 7), эти колебания в 2–3 раза сильнее.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для случая землетрясения 03.08.2010 г. ближе всего к эпицентру расположена ст. Омчак, но наибольшие колебания СП наблюдаются для ст. Сеймчан (рис. 3). Это можно объяснить существованием перед землетрясением обширной зоны ионосферных неоднородностей, что согласуется с многочисленными результатами на основе использования спутниковых навигационных систем, например, [Пулинец и др., 2010]. Одна из границ зоны находится вблизи ст. Сеймчан, где и наблюдаются эффекты, аналогичные случаю прохождения терминатора. Но наиболее выраженные эффекты обнаруживаются при сравнении СП для наиболее ближней и дальней от эпицентра СЭМ-станций. В то же время, хотя ст. Стекольный по расстоянию ближе к эпицентру, чем ст. Сеймчан, характер изменения СП для нее более соответствует характеру поведения СП на ст. Омчак. Это свидетельствует об асимметричной форме ионосферной неоднородности, что, возможно, связано с ориентацией региональных разломов [Кузнецов, 2010]. Глубинные разломы, выходящие на поверхность, преимущественно северо-западного простирания (направление СЭМ-станций Омчак–Стекольный), а разломы кристаллического фундамента (глубина 10–15 км), не выходящие на поверхность, ориентированы в северо-восточном направлении (Омчак–Сеймчан).

Через 92 ч в этом же районе (30 км между эпицентрами) произошло еще одно землетрясение 6.08.2010 г. Необходимо обратить внимание на устойчиво высокие значения ССП (см. рис. 3а) в промежутке между этими двумя землетрясениями (3 и 6 августа 2010 г.) с M больше 5 и $K = 11$. Возможно, они связаны с одним и тем же сейсмогенерирующим процессом в зоне пересечения двух вышеуказанных региональных разломов.

Для случая землетрясения 27.07.2009 г. расстояние до ближайшей станции соответствует расстояниям до дальних станций при землетрясении 03.08.2010 г. Ст. Сеймчан является ближайшей к эпицентру станцией, и перед землетрясением наблюдается понижение ССП для станций Сеймчан и Стекольный, аналогично как в случае пары станций Омчак (ближняя) и Сеймчан для земле-

трясения 03.08.2010 г., хотя эффект слабее. Но и землетрясение 27.07.2009 г. более слабое. Все же эффект понижения ССП для пары ближняя–дальняя станция является возможным краткосрочным (несколько суток) предвестником достаточно сильных землетрясений.

При землетрясении 19.10.2006 г. ближайшая станция – Сеймчан. Здесь имеется только суточная запись, и можно проверить только эффекты за несколько часов. Сравнивая рисунки 1а, 2а и 4а, 4в можно сделать вывод, что возрастание ССП (из преимущественно пониженного состояния) за несколько часов до землетрясения является возможным оперативным предвестником землетрясений.

При сравнении с обобщенными результатами спутниковых исследований, например, [Пулинец и др., 2010], можно отметить большую устойчивость аномалий и существование возможного оперативного предвестника. Кроме того, можно провести определенную аналогию с результатами [Михайлов и др., 2006б], где показано, что дискретные электромагнитные импульсы, наблюдаемые в аномальных потоках перед землетрясениями, были сигналами локальных грозовых процессов. Повышенное ССП на высоких частотах по сравнению с низкими является одним из отличий атмосфериков от ближних и дальних источников. Здесь также перед землетрясением 03.08.2010 г. на ст. Сеймчан наблюдался именно такой эффект (рис. 6а), т.е. источники атмосфериков казались более близкими. Поэтому изложенные здесь и в работе [Михайлов и др., 2006б] результаты могут быть следствием единого физического процесса.

В ранних работах по поиску предвестников на основе наземных наблюдений [Каталог..., 1991] все аномальные эффекты выражаются в увеличении потока атмосфериков перед землетрясением, в том числе и в близком направлении на эпицентр секторе углов (2 результата). Подобный результат нами был получен и при первоначальном анализе в 2007 г. землетрясения 19.10.2006 г. Но в 2009 г., с началом непрерывного сохранения выбороочных двухминутных записей каждые полчаса, было обнаружено большое количество аналогичных всплесков потоков атмосфериков в сейсмически спокойные периоды. Поэтому и была разработана новая методика на основе анализа не интегральной интенсивности атмосфериков, а их ССП, т.е. по существу не величины спектральной плотности, а ее формы. Причем, с учетом наличия сети станций, изменение формы СП анализируется не для одной станции, а для нескольких, расположенных на разных расстояниях от эпицентра. Таким образом, новая методика является развитием ранее использовавшихся методов. Что касается увеличения потока атмосфериков перед землетрясением, то, например, перед землетрясе-

нием 03.08.2010 г. данного эффекта не наблюдается. Более того, можно отметить некоторый спад интенсивности потока в течение нескольких суток, но подобные спады имеют место и в более ранние периоды.

В работе [Муллаяров и др., 2011] анализируются аномальные эффекты при прохождении атмосфериков над зонами дальних землетрясений, в то время как в нашем случае станции находятся непосредственно в зоне подготовки землетрясений. Поэтому в настоящее время нет возможности для сравнения полученных результатов с результатами данной работы. Такое сравнение может быть выполнено после проведения специальных исследований по анализу интенсивностей потоков атмосфериков и их спектральных плотностей для разных по расположению относительно зоны подготовки землетрясения секторов углов прихода на станции.

И, наконец, необходимо отметить что полученный эффект наиболее ярко проявляется в верхней полосе частот 30–40 кГц, что согласуется с результатами исследований распространения электромагнитных волн ОНЧ–НЧ диапазонов – т.е. постепенно усиливаются колебания амплитуды поля с уменьшением длины волны [Альперт, 1972].

5. ВЫВОДЫ

Выполненные оценки соотношения спектральных плотностей (ССП) дальних атмосфериков в разных поддиапазонах частот 8–12; 12–20; 20–30 и 30–40 кГц на разнесенных на 250–300 км СЭМ-станциях в период подготовки трех землетрясений с магнитудой ≥ 5 показали следующее:

1. Наиболее ярко выраженные аномалии ССП наблюдаются в поддиапазоне частот 30–40 кГц.
2. Наибольшие изменения ССП имеют место для случая пары из ближайшей к будущему эпицентру СЭМ-станции и удаленной от него (в пределах 350–500 км).
3. За несколько суток и до 2–3-х недель перед землетрясениями наблюдается устойчивое снижение ССП для пары ближняя–дальняя СЭМ-станция, что может являться краткосрочным предвестником землетрясения.
4. За несколько часов до землетрясения происходит повышение ССП, что может являться оперативным предвестником.

Для определения пространственных параметров из приведенных результатов следует, что локализация будущего эпицентра возможна с точностью порядка расстояния между СЭМ-станциями, что потребует значительного увеличения числа станций наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Альперт Я.Л.* Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М.: Наука, 563 с. 1972.
- *Кабанов В.В., Шарафутдинов В.М.* Аппаратурные комплексы региональной сети сейсмоэлектромагнитного мониторинга на северо-востоке России // Приборы и техника эксперимента. № 2. С. 152–153. 2007.
- Каталог импульсных электромагнитных предвестников землетрясений / Отв. ред. С.И. Зубков. М.: ИФЗ АН СССР. 128 с. 1991.
- *Кузнецов В.М., Жигалов С.В., Шпикерман В.И., Ведерникова Т.А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1.000 000 (№ поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56-Сеймчан. СПб.: изд-во ВСЕГЕИ, 426 с. 2008.
- *Михайлов Ю.М., Дружин Г.И., Михайлова Г.А., Капустина О.В.* Динамика грозовой активности во время тропических циклонов // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 46. № 6. С. 825–837. 2006а.
- *Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э.* Электрические и электромагнитные процессы в приземной атмосфере перед землетрясениями на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 46. № 6. С. 839–852. 2006б.
- *Муллаяров В.А., Абзалетдинова Л.М., Аргунов В.В., Корсаков А.А.* Вариации параметров грозовых электромагнитных сигналов на трассах, проходящих над областями землетрясений // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 51. № 6. С. 841–851. 2011.
- *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. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 50. № 2. С. 240–252. 2010.
- *Шарафутдинов В.М., Кабанов В.В.* Разработка и создание региональной сети электромагнитного мониторинга землетрясений в ОНЧ-диапазоне на Северо-Востоке России // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. № 3. С. 10–16. 2007.