

Воздействие землетрясений на режим ультранизкочастотных электромагнитных эмиссий

© *Б. В. Довбня*¹, *А. С. Потапов*², *Р. А. Рахматулин*², 2012

¹ Геофизическая обсерватория Борок ИФЗ РАН, п. Борок,
Ярославская область, Россия

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Поступила 26 февраля 2011 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Виявлено аномальні зміни поведінки геомагнітних пульсацій Pc 1 і коливань з резонансною структурою спектра (РСС), що виникають за кілька хвилин до або після землетрусу. В усіх випадках зміни відбувалися слідом за електромагнітним ультранизкочастотним (УНЧ) імпульсом і спостерігалися у вигляді або раптового припинення коливань, або їх різкої інтенсифікації. РСС відображає резонансні властивості іоносфери, які можуть бути істотно модифіковані внаслідок впливу землетрусу на іоносферні шари. Зміни резонансних властивостей можуть також спричинювати різкі зміни у коливаннях Pc 1. Передбачається, що ефекти в двох типах емісій (коливання Pc 1 і РСС) є наслідком складних процесів у верхній атмосфері, які включають висипання заряджених частинок в іоносферу, викликані взаємодією електромагнітного УНЧ-імпульсу літосферного походження з радіаційним поясом.

Anomalous changes in the behavior of Pc1 geomagnetic pulsations and oscillations with the spectrum resonance structure (SRS) occurred a few minutes before or after an earthquake have been found. In all cases the changes happened following the ULF electromagnetic pulse and were observed either as a sudden stop of oscillations, or as their sharp intensification. SRS reflects the ionosphere resonance properties that can be sharply modified due to impact of an earthquake on the ionosphere layers. Changes in the resonance properties can be a reason of the effects in Pc1 s as well. It is supposed that the effects in two types of emissions (Pc1 and SRS oscillations) are the consequence of the complex processes in the upper atmosphere, including precipitation of the charged particles into the ionosphere caused by interaction of ULF electromagnetic pulse of lithosphere origin with radiation belt.

Введение. Ультранизкочастотные (УНЧ) колебания с резонансной структурой спектра (РСС) обусловлены ионосферными альвеновскими резонансами (ИАР) — интересным волновым явлением, хорошо описанным в литературе [Поляков, Рапопорт, 1981; Belyaev et al., 1990; Böisinger et al., 2002]. Область формирования ИАР расположена между двумя изгибами профиля плотности плазмы: в нижней части слоя F ионосферы и на высотах около 1000—3000 км. В этой области альвеновские волны захватываются и образуют стоячие волны [Belyaev et al., 1999]. Добротность резонатора может достигать значений 5—10.

Структурированные эмиссии Pc 1 тоже хорошо известны. Дискретные пакеты ионно-циклотронных волн генерируются в экваториальной области магнитосферы; они колеблются между сопряженными ионосферами, при частичном проникновении к земле наблюдаются в виде геомагнитных пульсаций Pc 1.

Предлагаемая статья посвящена изучению связи ультранизкочастотных РСС-излучений и структурированных эмиссий типа Pc 1 с импульсными электромагнитными сигналами, обусловленными сейсмической активностью. Происхождение таких УНЧ-импульсов и их возможная физическая природа уже обсуждались

в работе одного из авторов [Довбня и др., 2006], в статье [Довбня, 2011] приводились примеры воздействия импульсов на колебания Pc1 и некоторые другие типы геомагнитных пульсаций. В публикации [Guglielmi et al., 2006] предпринята первая попытка сопоставить изменения режима ИАР с сейсмическими явлениями. В данной статье показаны эффекты вызванных землетрясениями импульсов на режим РСС-колебаний и одновременное воздействие этих импульсов на РСС и Pc1.

Данные. Пульсации Pc1 и местные проявления ИАР (РСС-колебаний) регистрировались на геофизической обсерватории "Борок" (58,0° N, 38,2° E) и Саянской солнечной обсерватории "Монды" (51,6° N, 100,9° E). Для анализа отдельных событий были использованы также имеющиеся в архиве обсерватории "Борок" записи станции "Коледж" (64,9° N, 147,9° W). Типичный пример хорошо развитых колебаний с РСС, наблюдавшихся в обсерватории "Борок", показан на верхней панели рис. 1. Перед 1600 UT видна некоторая неструктурированная волновая активность в частотном диа-

пазоне ниже 4—5 Гц, затем из диффузного пятна возникает несколько ясно заметных полос с примерно эквидистантными значениями частоты. Частоты медленно возрастают со временем до местной ночи. Данное событие наблюдалось в магнитоспокойное время: индекс Кр не превышал значения 2. Аналогичная картина видна на центральной панели рис. 1; она построена по данным обсерватории "Монды". Нижняя панель служит примером эмиссии Pc1 в частотно-временном представлении.

Мы проанализировали магнитные записи обсерватории "Борок" за периоды с 1973 по 1977 г. и с 1985 по 1988 г. Солнечная активность в указанные периоды была низкой. Используются также цифровые записи обсерватории "Монды" с частотой опроса 64 Гц за несколько месяцев 2010 г. Свойства Pc1 и ИАР изучены на основе спектрограмм. Частотно-временное представление сигналов в диапазоне от 0 до 5—9 Гц позволило отыскивать события ИАР, а затем измерять их частотные и динамические особенности графически. Для анализа Pc1 был взят более узкий диапазон. Основные зависимости характеристик ИАР для обсерватории "Борок" те же, что получены ранее в других обсерваториях: ночное время появления, наблюдение преимущественно во время низкой магнитной активности; более четкое проявление в Y-компоненте геомагнитного поля по сравнению с X-компонентой. Следует обратить внимание на реакцию резонансной структуры ИАР и режима Pc1 на внешние воздействия, в частности, на электромагнитные УНЧ-импульсы, связанные с землетрясениями и возникающие за несколько минут до или после них [Довбня и др., 2006].

Результаты. Из других характеристик ИАР в обсерваториях "Борок" и "Монды" был исследован отклик вариаций интенсивности резонансов на ионосферные возмущения, вызванные некоторыми внешними воздействиями. Мы обнаружили, что удаленные землетрясения влияют на режим ИАР. Были найдены различные типы реакции ИАР на сейсмические события. Рассмотрим их более детально.

На рис. 2 видно резкое исчезновение структуры ИАР после импульса, наблюдавшегося почти одновременно с удаленным землетрясением. Здесь и далее стрелка снизу графика обозначает время землетрясения; цифры под рисунком — мировое время UT (час, минута, секунда), географические координаты (широта и долгота), глубина сейсмического источника в километрах и магнитуда землетрясе-

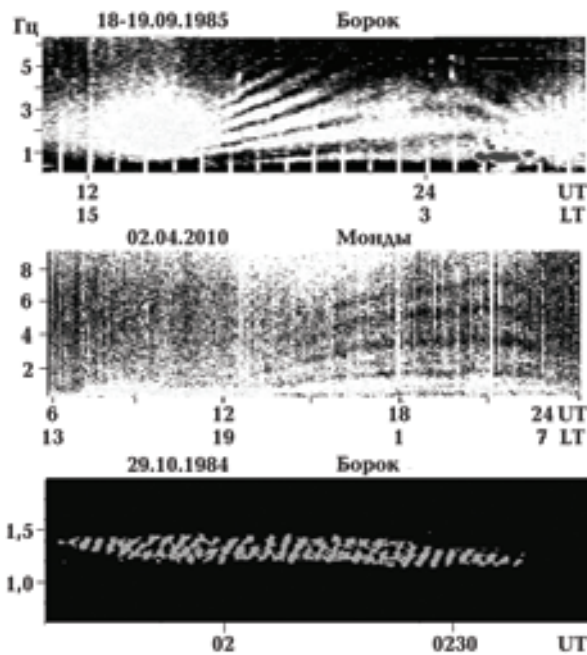


Рис. 1. Типичные примеры колебаний с резонансной структурой спектра по наблюдениям на обсерваториях "Борок" (верхняя панель) и "Монды" (средняя панель). Нижняя панель — типичный пример серии геомагнитных пульсаций типа Pc1 по наблюдениям в обсерватории "Борок". Динамические спектры (спектрограммы) показывают изменение спектра колебаний во времени.

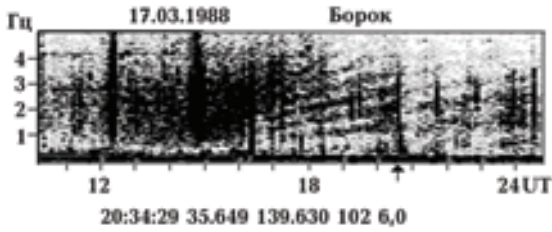


Рис. 2. Пример исчезновения резонансной структуры колебаний, возбуждаемых в ионосферном альвеновском резонаторе одновременно с приходом электромагнитного импульса от удаленного землетрясения.

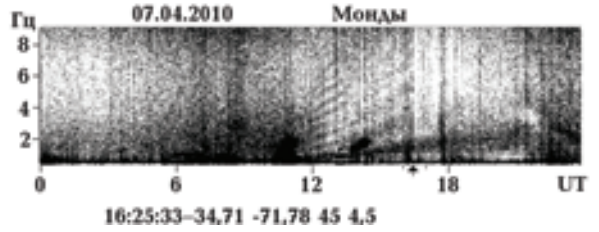


Рис. 4. Пример события, когда импульс от землетрясения не только прервал режим ИАР, но и вызвал замирание фоновой волновой активности.

ния. Рис. 3 иллюстрирует другой тип сейсмического эффекта. После ассоциированного с землетрясением импульса внезапно появляется РСС. Наконец, на рис. 4 видно, что импульс от удаленного землетрясения не только "стирает" структуру ИАР, но и приводит к временному замиранию фона низкочастотных излучений во всем диапазоне частот от 2 до 9 Гц.

Связь структурированных эмиссий Рс1 с землетрясениями изучалась нами ранее [Dovbnia, 2007; Довбня, 2011]. Было показано, что появление электромагнитного импульса приводило либо к резкому срыву существующих до землетрясения колебаний, либо, наоборот, к их резкой интенсификации. Возможен и другой эффект — возбуждение вслед за импульсом серии жемчужин с отчетливой привязкой начала колебаний к импульсу. Эффекты, таким образом, оказываются одинаковыми для двух различных типов геомагнитных пульсаций, РСС и Рс1. Обнаруженные нами случаи одновременного воздействия электромагнитного УНЧ-импульса на режим РСС и Рс1 были в какой-то

мере ожидаемыми. На верхней панели рис. 5 видно, как импульс от землетрясения подавляет резонансную структуру спектра ИАР. В нижней части верхней панели наблюдаются светлые полосы, представляющие собой эмиссии Рс1. Чтобы более подробно проследить их динамику, на нижней панели спектрограмма колебаний воспроизведена в другом режиме, позволяющем разрешить тонкую структуру эмиссий Рс1. В данном случае эмиссия имеет вид двух параллельных полос с медленно возрастающей частотой. Видно, что импульс от зем-

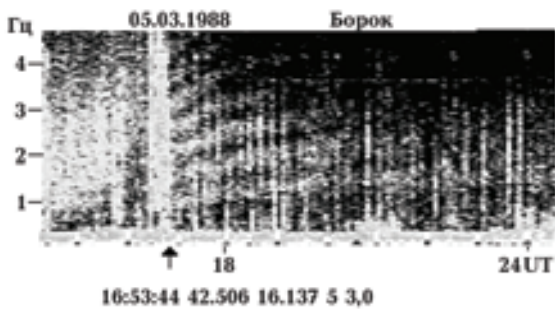


Рис. 3. Внезапное появление резонансной структуры ИАР в момент прихода импульса от землетрясения.

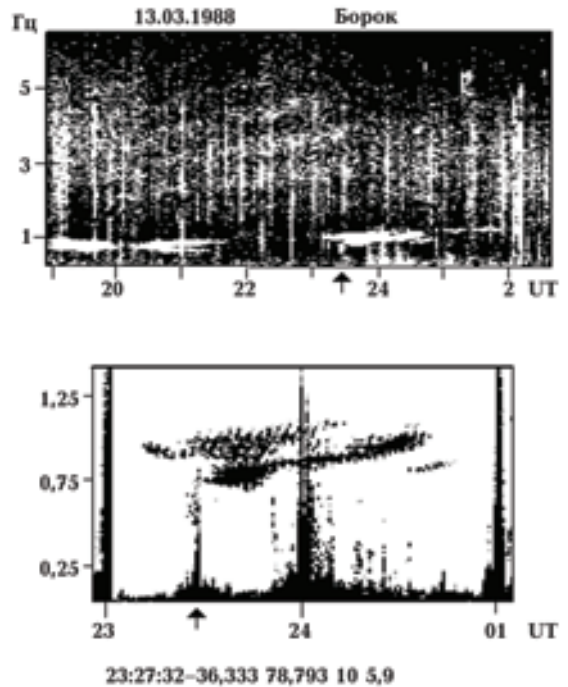


Рис. 5. Пример события, когда импульс от землетрясения одновременно прервал режим ИАР, привел к интенсификации одной серии Рс1 и вызвал появление другой серии.

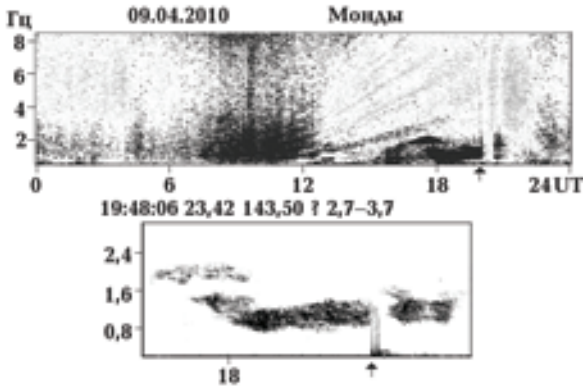


Рис. 6. Событие одновременного срыва режима двух волновых явлений: РСС ИАР и Рс1.

летрясения усилил интенсивность одной серии Рс1 и в то же время "включил" другую, более низкочастотную серию. Рис. 6 иллюстрирует, что удаленное землетрясение может одновременно и подавить резонансную структуру ионосферных альвеновских резонансов, и прервать на некоторое время структурированный режим Рс1. На рис. 6 показаны две различные спектрограммы одного события. Нижняя панель более детально демонстрирует эмиссию Рс1.

Наконец, аналогичные эффекты могут наблюдаться от импульсных иррегулярных эмиссий типа Рi1В, которые возникают при инжекции заряженных частиц из магнитосферы в верхние слои атмосферы. (Такие колебания, вообще говоря, не связаны генетически с землетрясениями.) Верхняя панель на рис. 7 иллюстрирует внезапное подавление структуры ИАР,

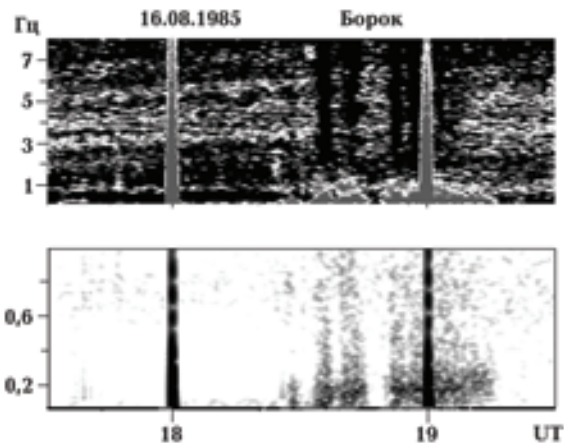


Рис. 7. Пример срыва режима ИАР под действием иррегулярных геомагнитных пульсаций типа Рi1В.

вызванное пульсациями РiВ. На нижней панели показана детальная спектрограмма этих пульсаций. (Вертикальные отрезки на обеих панелях рис. 7 обозначают часовые метки.) Аналогичный эффект всплески Рi1В могут вызывать и в эмиссиях Рс1. Как видно на рис. 8, высыпание заряженных частиц, приведшее к генерации Рi1В в 1010 UT, одновременно погасило режим генерации Рс1.

Выводы. 1. За несколько минут до землетрясения или сразу после него могут происходить аномальные изменения как в структуре колебаний с резонансной структурой спектра (ионосферных альвеновских резонансов), так и в режиме пульсаций Рс1.

2. Эффекты в эмиссиях обоих типов тесно связаны с электромагнитными УНЧ-импульсами от землетрясений. Они во всех случаях наблюдаются вслед за указанными импульсами.

При обсуждении возможной природы связи геомагнитных пульсаций, в частности, Рс1 с землетрясениями рассматривалась возможность обусловленной низкочастотным импульсом инжекции частиц радиационного пояса Земли в ионосферу [Довбня, 2011]. По-видимому, этот механизм может быть применим и для объяснения аномальных изменений в структуре ионосферных альвеновских резонансов во время землетрясений и их связи с электромагнитными УНЧ-импульсами. Действительно, РСС отражает резонансные свойства ионосферы, которые могут быть существенно модифицированы при высыпании заряженных частиц в ионосферу, инициированном взаимодействием электромагнитного УНЧ-импульса литосферного происхождения с радиационным поясом.

Результаты исследований обогащают накопленные в литературе данные о комплексе ионосферных явлений, вызванных воздействием сейсмических процессов на верхнюю атмосферу. Резонансные свойства ионосферы оказывают

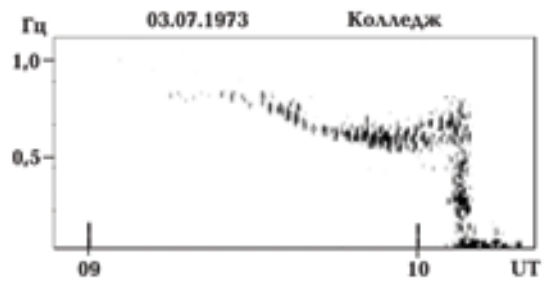


Рис. 8. Резкое окончание серии колебаний типа Рс1 после всплеска иррегулярных пульсаций типа Рi1В.

ся чувствительными даже к умеренным удаленным землетрясениям. Контроль волновых свойств верхней атмосферы и магнитосферы посредством наблюдений УНЧ-излучений в диапазоне от долей герца до нескольких герц наряду со спутниковыми измерениями может оказаться полезным при исследованиях процессов в верхней атмосфере, инициированных сейсмической активностью. В этой связи особый интерес представляет изучение пространствен-

но-временного распределения отклика ионосферы на землетрясения. Нами планируется проведение одновременных УНЧ-наблюдений на двух разнесенных обсерваториях, "Борок" и "Монды", с привлечением данных ионосферного зондирования.

Благодарности. Мы благодарим Б. Цэгмэда за его помощь в обработке данных обсерватории "Монды". Работа была частично поддержана грантом РФФИ 10-05-00661.

Список литературы

- Довбня Б. В. Об эффектах землетрясений в геомагнитных пульсациях и их возможной природе // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 1. — С. 72—79.
- Довбня Б. В., Зотов О. Д., Мострюков А. Ю., Щепетнов Р. В. Электромагнитные сигналы во временной окрестности землетрясений // Физика Земли. — 2006. — № 8. — С. 60—65.
- Поляков С. В., Рапопорт В. О. Ионосферный альвеновский резонатор // Геомагнетизм и аэронавтика. — 1981. — **21**. — С. 610—614.
- Belyaev P. P., Polyakov S. V., Rapoport V. O., Trakhtengerts V. Y. The ionospheric Alfvén resonator // J. Atmos. Terr. Phys. — 1990. — **52**. P. 781—788.
- Belyaev P. P., Böisinger T., Isaev S. V., Trakhtengerts V. Y., Kangas I. First evidence at high latitudes for the ionospheric Alfvén resonator // J. Geophys. Res. — 1999. — **104**. — P. 4305—4317.
- Böisinger T., Haldoupis C., Belyaev P. P., Yakunin M. N., Semenova N. V., Demekhov A. G., Angelopoulos V. Spectral properties of the ionospheric Alfvén resonator observed at a low-latitude station (L = 1,3) // J. Geophys. Res. — 2002. — **107**. — P. 2328—2333.
- Dovbnya B. V. On the earthquake effects in the regime of Pc1 // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. — 2007. — **69**, iss. 14. — P. 1765—1769.
- Guglielmi A., Potapov A., Tsegmed B., Hayakawa M., Dovbnya B. On the earthquake effects in the regime of ionospheric Alfvén resonances // Physics and Chemistry of the Earth. — 2006. — **31**. — P. 469—472.