

Электромагнитные предвестники землетрясений и их повторяемость

© Б. В. Довбня, 2014

Геофизическая обсерватория "Борок" ИФЗ РАН,
п. Борок, Ярославская обл., Россия

Поступила 21 августа 2013 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

За даними геофізичних обсерваторій "Борок" та "Коледж" проведено аналіз електромагнітної активності повторних підземних поштовхів, епіцентри яких розміщуються близько один від одного. Виявлено, що якщо перед першим із серії землетрусів спостерігається електромагнітний провісник, то і перед кожним з наступних підземних поштовхів цієї серії також з'являтиметься попереджувальний сигнал. Наведено конкретні приклади і обговорено отримані результати.

Ключові слова: землетруси, афтершоки, електромагнітні провісники.

Введение. Многообразны связи электромагнитных и сейсмотектонических процессов. Даже краткий обзор работ, посвященных исследованию указанных связей, увел бы нас далеко в сторону. Поэтому ниже упомянуты только некоторые работы, прямо или косвенно касающиеся темы исследования. Прежде всего, следует указать на поиск электромагнитных сигналов, сопровождающих распространение сейсмических волн. Работы данного направления представлены, например, в обзоре [Гульельми, 2007]. Однако к теме настоящей статьи ближе направление, рассматривающее исключительно трудную проблему поиска электромагнитных предвестников землетрясений (см., например: [Atmospheric ..., 1999; Seismo ..., 2002; Nattori, 2004; Гульельми, Зотов, 2012]). Особо следует упомянуть исследования [Fraser-Smith et al., 1990; Bernardy et al., 1991], в которых обнаружен и проанализирован мощный всплеск ультранизкочастотных (УНЧ) электромагнитных колебаний перед землетрясением в Лома-Приета (1989, $M=7,1$). В статье [Копытенко et al., 1993] сообщается о колебаниях геомагнитного поля перед разрушительным землетрясением в Спитаке (1988, $M=6,9$), в публикациях [Собисевич и др., 2010; Собисевич, Собисевич, 2010] — об обнаружении УНЧ геомагнитных

возмущений, отражающих процесс подготовки Суматра-Андаманского землетрясения (2004, $M=9,1$). Серия работ посвящена исследованию связи землетрясений с магнитными бурями, имеющими внезапные начала (SSC). Обнаружено изменение сейсмической активности через несколько дней после SSC [Соболев и др., 2001; Закржевская, Соболев, 2002, 2004; Адушкин и др., 2012].

В работе [Довбня и др., 2006] сообщается об обнаружении специфических УНЧ электромагнитных сигналов в диапазоне частот 0—5 Гц, предвещающих и сопровождающих землетрясения. Сигналы от удаленных землетрясений зарегистрированы на обсерваториях "Борок" и "Коледж" в интервале 0—5 мин относительно момента сейсмического события в виде либо единичных, либо парных импульсов. Особый интерес представляли те из них, которые наблюдались до землетрясения. Каждый из подобных сигналов — одно из проявлений процессов, которые происходят раньше землетрясений и так или иначе с ним связаны. В этом смысле их можно отнести к предвестникам землетрясений.

Естественным продолжением исследований, начатых в работе [Довбня и др., 2006], нам представляется тщательное изучение электромаг-

нитной активности повторных подземных толчков, или афтершоков, сопровождающих сильные землетрясения. При постановке этой задачи мы исходим из предположения о возможном подобии процессов подготовки серии землетрясений, локализованных в пространстве и времени. В таком случае можно ожидать повторяемость и подобие электромагнитных явлений, ассоциируемых с процессом подготовки афтершоков.

Изучению этой проблемы и посвящена данная статья. Приведены экспериментальные данные о наблюдении электромагнитной активности при повторных подземных толчках и обсуждены полученные результаты.

Исходный материал и методы анализа.

Анализ УНЧ-излучений выполнялся по данным магнитных измерений на двух среднеширотных обсерваториях — Геофизической обсерватории "Борок" Института физики Земли РАН (58,1° с. ш., 38,2° в. д.) и Геофизической обсерватории "Колледж" (64,9° с. ш., 212,0° в. д.). Исходный материал для анализа — записи на магнитную ленту УНЧ-вариаций электромагнитного поля Земли в диапазоне частот от 0 до 5 Гц. Аналоговые магнитофонные записи оцифровывались, а затем подвергались спектрально-временному анализу с помощью компьютерных программ. Построены динамические спектры колебаний, т. е. трехмерные спектрограммы изменения интенсивности в зависимости от частоты и времени, которые затем анализировались визуально. Данные о землетрясениях взяты из каталога International Seismological Centre, ISC Catalogues, www.isc.ac.uk.

Результаты наблюдения. Перед рассмотрением электромагнитной активности при повторных подземных толчках приведем несколько примеров динамических спектров предвестников индивидуальных землетрясений. На рис. 1—4 темными стрелками отмечены моменты землетрясений. В подписях к рисункам приводятся следующие параметры землетрясений: мировое время, географические координаты, глубина h , в км, магнитуда M .

Разрушительное землетрясение с магнитудой $M=7,7$ произошло в Румынии 4 марта 1977 г. в 19 : 21 UT. Подземные толчки, вызванные приходом сейсмической волны из очага главного удара, ощущались даже в Москве. За 4 мин до момента землетрясения на обсерватории "Борок", расположенной в 300 км к северу-востоку от Москвы, были зарегистрированы два электромагнитных импульса, которые на 10 мин опередили приход сейсмической волны из эпи-

центра главного удара (отмечен светлой стрелкой на рис. 1).

Это один из примерно 200 выявленных нами случаев электромагнитных предвестников землетрясений (подробнее см. в работе [Довбня и др., 2006]). Несколько примеров появления предвестников землетрясений, происшедших в разных регионах и с разной магнитудой M , представлено на рис. 2.

Суммировав наблюдения такого рода, отметим следующее. Предвестники могут появляться как перед сильными, так и перед слабыми сейсмическими событиями. И в том, и в другом случае это или единичные, или парные импульсы. Интенсивность импульсов, приходящих из разных регионов, не зависит от силы землетрясения.

Перейдем к анализу электромагнитной активности при наличии серии подземных толчков, происходящих вблизи очага главного удара. Повторные землетрясения умеренной интенсивности в Турции часто наблюдаются в течение нескольких дней или даже недель. На рис. 3 показан фрагмент магнитной записи на обсерватории "Борок", иллюстрирующий характер электромагнитной активности в интервале времени 20—21 UT. Как видно из рис. 3, прошла серия из 4 землетрясений, эпицентры которых располагались достаточно близко друг к другу.

На обсерватории "Борок" перед каждым из землетрясений был зарегистрирован его электромагнитный предвестник. Отметим зависимость интенсивности сигнала от магнитуды последующего за ним землетрясения. На рис. 3 видно, что интенсивность первого и четвертого электромагнитных предвестников была заметно больше интенсивности второго и третьего. Подобная зависимость не наблюдалась

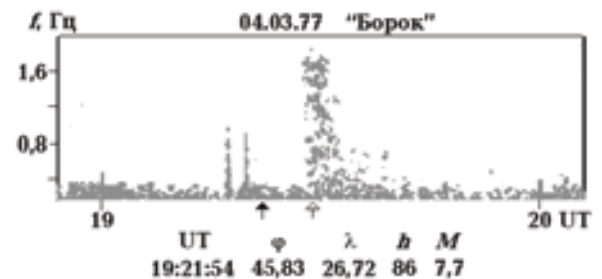


Рис. 1. Появление электромагнитного предвестника при землетрясении в Румынии 4 марта 1977 г. Сейсмическая волна (светлая стрелка) зарегистрирована на обсерватории "Борок" спустя 6 мин после момента главного удара.

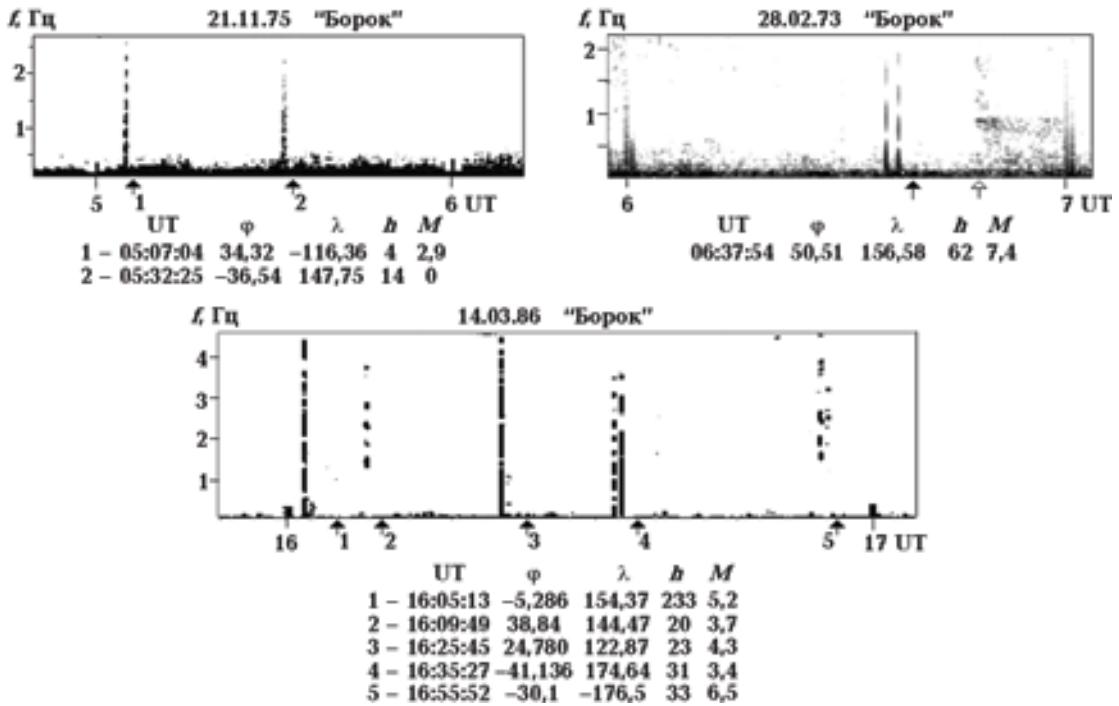


Рис. 2. Примеры наблюдения электромагнитных предвестников.

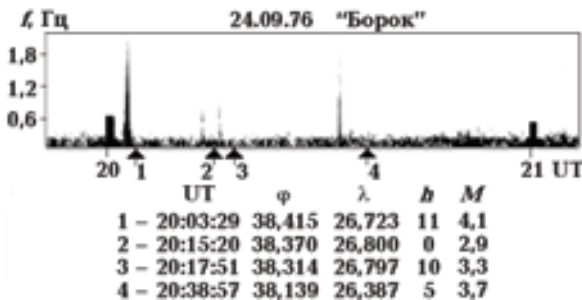


Рис. 3. Пример появления электромагнитных предвестников.

для сигналов, предваряющих и сопровождающих отдельные землетрясения, которые происходили в разных регионах (подробнее об интенсивности см. в статье [Довбня и др., 2006]).

Рассмотрим рис. 4. Сильное глубоководное землетрясение с $M=6,5$ произошло в акватории Тихого океана 31 января 1973 г. За 4 мин до момента главного удара на обсерватории "Борок" регистрируется электромагнитный предвестник, который повторяется и перед последующим за этим ударом афтершоком. Светлыми стрелками отмечен редкий случай наблюдения на обсерватории "Борок" от удаленного землетрясения одновременно P - и S -волн.

На рис. 5 представлено несколько примеров повторяемости предвестников землетрясений. Следует отметить одну особенность — сохранение режима электромагнитного излучения в отдельном регионе. Так, при землетрясениях, которые произошли 01.11.75, перед первым и перед вторым подземными толчками наблюдаются подобные формы, так называемые импульсы-близнецы, подробно описанные в работе [Довбня и др., 2006]. Другой режим наблюдался 22.03.86 — предвестник появился в виде единичного импульса (такой же режим наблюдался и в случае, приведенном на рис. 3). Смешанный режим излучения зафиксирован 06.05.77.

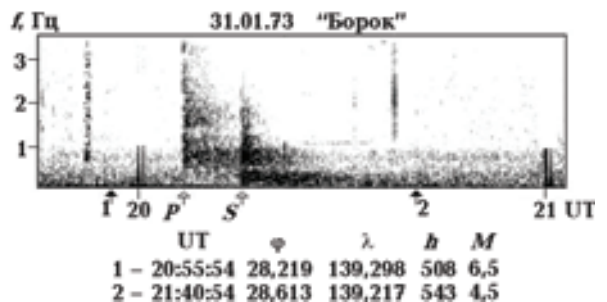


Рис. 4. Повторение электромагнитного предвестника в афтершоке, последующего за сильным землетрясением в Тихом океане.

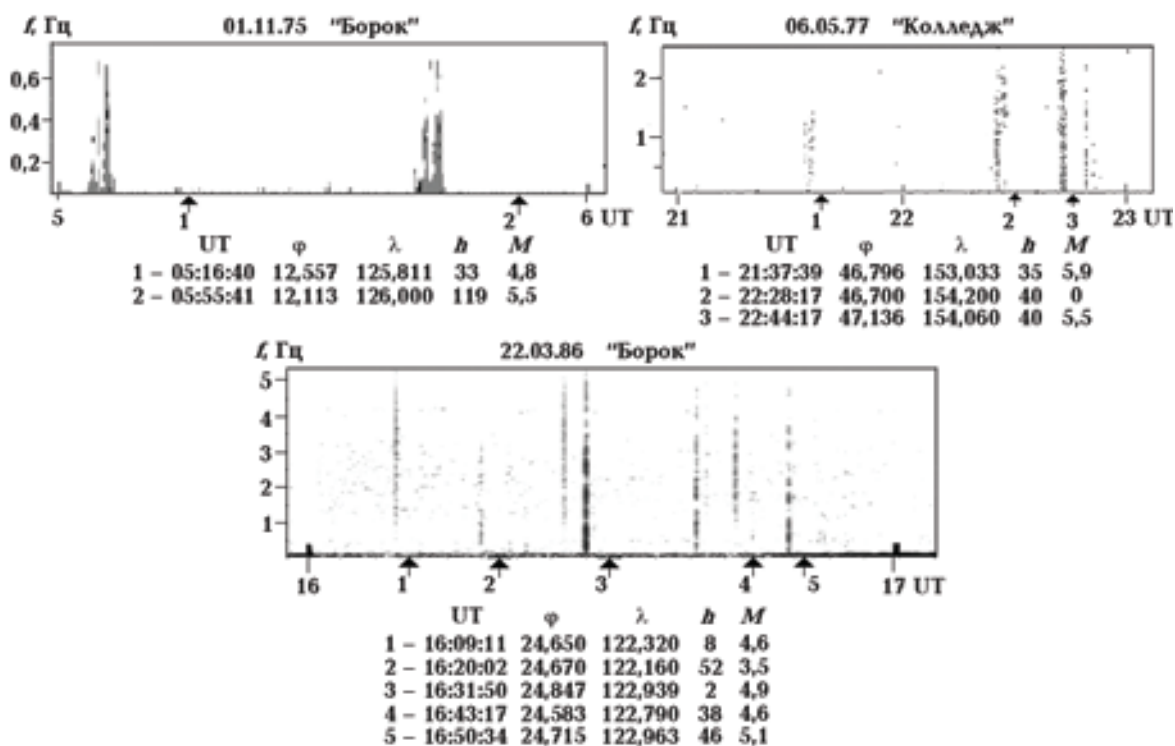


Рис. 5. Примеры повторяемости электромагнитных предвестников землетрясений.

В нашем архиве имеется около 30 подобных примеров.

Обсуждение и заключение. В ходе анализа электромагнитной активности повторных подземных толчков (афтершоков) обнаружена *повторяемость* электромагнитных предвестников землетрясений, ассоциируемая с подобием и повторяемостью процессов подготовки.

Обнаружена интересная особенность в характере электромагнитной активности, а именно сохранение одного и того же режима возбуждения электромагнитных импульсов внутри отдельной серии повторных подземных толчков. В зависимости от региона это могут быть либо единичные, либо парные импульсы. Вероятно, появление того или иного режима связано с различием процессов преобразования механической энергии в электромагнитную в регионах с разной геологической структурой. Загадкой остается появление двух следующих друг за другом импульсов, как проявление двух, по-видимому, взаимосвязанных процессов в земных недрах.

Отмечена еще одна особенность — зависимость интенсивности сигнала от магнитуды последующего за ним землетрясения. Если подобная зависимость подтвердится в дальнейших наблюдениях, это может означать, что в случае повторных толчков интенсивность элект-

ромагнитного предвестника является одним из параметров, тесно связанных с магнитудой последующего за ним сейсмического события.

Результаты анализа могут найти применение при поиске и разработке методов прогноза повторных землетрясений. Афтершоки представляют серьезную опасность для региона, пострадавшего в результате первого из землетрясений. Повторяемость электромагнитных предвестников повторных подземных толчков дает принципиальную возможность оперативного оповещения (за несколько минут) об очередном землетрясении.

Напомним, что наблюдения электромагнитных предвестников проводились на значительных удалениях от эпицентров землетрясений, что могло приводить к частичному искажению начальных характеристик сигналов на трассе их распространения. Поэтому представленные результаты следует считать предварительными. Наиболее полно свойство повторяемости электромагнитных предвестников в серии землетрясений может быть раскрыто при наблюдениях в эпицентральных зонах землетрясений.

Автор благодарит А. С. Потапова за полезные обсуждения при подготовке данной статьи. Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 13-05-00066 и 13-05-00529).

Список литературы

- Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А., Харламов В.А. Отклик сейсмического фона на геомагнитные вариации. *Докл. РАН*. 2012. Т. 444. № 3. С. 304—308.
- Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли. *Успехи физ. наук*. 2007. Т. 177. № 12. С. 1257—1276.
- Гульельми А.В., Зотов О.Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями. *Физика Земли*. 2012. № 2. С. 84—87.
- 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.
- Закржевская Н.А., Соболев Г.А. Влияние магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность в различных регионах. *Вулканология и сейсмология*. 2004. № 3. С. 63—75.
- Закржевская Н.А., Соболев Г.А. О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность. *Физика Земли*. 2002. № 4. С. 3—15.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями. *Физика Земли*. 2001. № 11. С. 62—72.
- Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений. *Докл. РАН*. 2010. Т. 435. № 4. С. 548—553.
- Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Дилатантные структуры и электромагнитные возмущения УНЧ диапазона на этапах подготовки и развития крупного сейсмического события. *Вестник ОНЗ РАН*. 2010. Т. 2. № Z6027. С. 202—213. doi:10.2205/2010NZ000045.
- Bernardi A., Fraser-Smith A.C., McGill P.R., Villard O.G.Jr., 1991. ULF magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. *Phys. Earth Planet. Int.* 68, 45—63.
- Fraser-Smith A.C., Bernardi A., McGill P.R., Ladd M.E., Helliwell R.A., Villard O.G.Jr., 1990. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. *Geophys. Res. Lett.* 17, 1465—1468.
- Hattori K., 2004. ULF Geomagnetic changes associated with large earthquakes. *TAO* 15 (3), 329—360.
- Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes*, 1999. (Ed. M. Hayakawa). Tokyo: TERRAPUB, 1996 p.
- Seismo electromagnetics lithosphere-atmosphere-ionosphere Coupling*, 2002. (Eds M. Hayakawa, O.A. Molchanov). Tokyo: TERRAPUB, 477 p.
- Kopytenko Y.A., Matishvili T.G., Voronov P.M., Kopytenko E.A., Molchanov O.A., 1993. Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories. *Phys. Earth Planet. Int.* 77, 85—95.

Electromagnetic precursors of earthquakes and their recurrence

© B. V. Dovbnja, 2014

Analysis of the electromagnetic activity of aftershocks, which epicenters are located close to each other, was carried out using the data recorded by Borok and College Geophysical Observatories. It is found that in the case when the first earthquake is accompanied by its electromagnetic precursor, every next aftershock from this series is also preceded by its precursor. The concrete examples are presented and the results are discussed.

Key words: earthquake, aftershocks, electromagnetic precursors.

References

- Adushkin V. V., Rjabova S. A., Spivak A. A., Harlamov V. A., 2012. Response to seismic background geomagnetic variations. *Doklady RAN* 444(3), 304—308 (in Russian).
- Gul'el'mi A. V., 2007. Ultra-low-frequency electromagnetic waves in the crust and in the Earth's magnetosphere. *Uspehi fizicheskikh nauk* 177(12), 1257—1276 (in Russian).
- Gul'el'mi A. V., Zotov O. D., 2012. On magnetic disturbances before strong earthquakes. *Fizika Zemli* (2), 84—87 (in Russian).
- Dovbnja B. V., Zotov O. D., Mostjukov A. Ju., Shhepetnov R. V., 2006. Electromagnetic signals in the time vicinity of earthquakes. *Fizika Zemli* (8), 60—65 (in Russian).
- Zakrzhevskaja N. A., Sobolev G. A., 2004. Effect of magnetic storms with sudden onset on seismicity in different regions. *Vulkanologija i seismologija* (3), 63—75 (in Russian).
- Zakrzhevskaja N. A., Sobolev G. A., 2002. The possible influence of magnetic storms on seismicity. *Fizika Zemli* (4), 3—15 (in Russian).
- Sobolev G. A., Zakrzhevskaja N. A., Harin E. P., 2001. On the relationship of seismicity with magnetic storms. *Fizika Zemli* (11), 62—72 (in Russian).
- Sobisevich L. E., Kanonidi K. H., Sobisevich A. L., 2010. Observations of ULF geomagnetic disturbances, reflecting the processes of preparation and development of the tsunami earthquakes. *Doklady RAN* 435(4), 548—553 (in Russian).
- Sobisevich L. E., Sobisevich A. L., 2010. Dilatancy structure and electromagnetic disturbances VLF range on the stages of preparation and development of a large seismic event. *Vestnik ONZ RAN* 2(Z6027), 202—213 (in Russian).
- Bernardi A., Fraser-Smith A. C., McGill P. R., Villard O. G. Jr., 1991. ULF magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. *Phys. Earth Planet. Int.* 68, 45—63.
- Fraser-Smith A. C., Bernardi A., McGill P. R., Ladd M. E., Helliwell R. A., Villard O. G. Jr., 1990. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. *Geophys. Res. Lett.* 17, 1465—1468.
- Hattori K., 2004. ULF Geomagnetic changes associated with large earthquakes. *TAO* 15(3), 329—360.
- Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes*, 1999. (Ed. M. Hayakawa). Tokyo: TERRAPUB, 1996 p.
- Seismo electromagnetics lithosphere-atmosphere-ionosphere Coupling*, 2002. (Eds M. Hayakawa, O. A. Molchanov). Tokyo: TERRAPUB, 477 p.
- Kopytenko Y. A., Matishvili T. G., Voronov P. M., Kopytenko E. A., Molchanov O. A., 1993. Detection of ultra-low-frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories. *Phys. Earth Planet. Int.* 77, 85—95.