

## ФЛУКТУАЦИИ УРОВНЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОПРОВОЖДАВШИЕ СИЛЬНЕЙШИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Л.Ф. Черногор, Е.О. Смирнова

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина  
Leonid.F.Chernogor@univer.kharkov.ua

## GEOMAGNETIC FIELD FLUCTUATIONS ASSOCIATED WITH THE MOST POWERFUL EARTHQUAKES

L.F. Chernogor, E.O. Smirnova

V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

**Аннотация.** Проанализированы вариации уровня горизонтальных компонент геомагнитного поля с периодами  $T=1-1000$  с, сопровождавшие сильнейшие землетрясения (магнитуда  $M_w=7-9$ ). Расстояние между эпицентром землетрясения и обсерваторией изменялось от  $\sim 3000$  до  $\sim 8000$  км. Для обнаружения реакции на землетрясения использовались полосовая фильтрация и системный спектральный анализ.

**Ключевые слова:** геомагнитное поле, флуктуации уровня, землетрясения, параметры возмущений.

**Abstract.** We analyzed 1–1000 s geomagnetic field variations accompanying strong earthquakes of 7–9 Richter magnitude. The distance between the earthquake epicenter and magnetic observatory varied from 3000 to 8000 km. To detect the response to the earthquakes band-pass filtering and system spectral analysis were used.

**Keywords:** geomagnetic field, level fluctuations, earthquakes, parameters of disturbances.

### Введение

В настоящее время актуальной является проблема взаимодействия подсистем в системах Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера и Солнце — межпланетная среда — магнитосфера — ионосфера — атмосфера — Земля. Вариации уровня геомагнитного поля — один из каналов взаимодействия подсистем. Их взаимодействия четче проявляются при значительных энерговыделениях в одной из подсистем. Важным источником энергии выступают землетрясения (ЗТ). При этом возмущения от ЗТ могут передаваться во все подсистемы и, в частности, могут возникать относительно кратковременные возмущения уровня геомагнитного поля, генерироваться МГД-возмущения. Механизмы этих возмущений, которые могут как предшествовать ЗТ, так и возникнуть после удара, изучены недостаточно. Особенно это относится к магнитным предвестникам ЗТ, сведения о которых очень противоречивы (см., например, [Шестопалов и др., 2013; Романова и др., 2015]), а механизм возникновения которых неизвестен. Поэтому изучение возможной реакции геомагнитного поля на готовящиеся и свершившиеся ЗТ является актуальной задачей.

Цель настоящей работы — иллюстрация сложности выделения реакции геомагнитного поля в диапазоне периодов 100–1000 с на подготовку ЗТ и сейсмический удар.

### Средства и методы

Измерения выполнены при помощи несерийного магнитометра-флюксметра, размещенного в Магнитометрической обсерватории ХНУ им. В.Н. Каразина (географические координаты:  $49^{\circ}39' N$ ,  $36^{\circ}56' E$ ). Магнитометр регистрирует уровень флукту-

аций горизонтальных компонент (Н- и D-компонент) геомагнитного поля с периодами  $T=1-1000$  с. Минимальные значения амплитуд флуктуаций определяются уровнем внутренних шумов, которые составляют 0.5–500 пТл для  $T=1-1000$  с соответственно.

Системному спектральному анализу предшествовали фильтрация в интервалах периодов: 1–10, 10–100 и 100–1000 с и тщательное изучение состояния космической погоды.

### Общие сведения о землетрясениях

В данной работе в качестве примера обсуждаются два характерных ЗТ.

*Чуйское ЗТ.* Имело место на Алтае (Россия). Координаты эпицентра:  $50^{\circ}08' N$ ,  $87^{\circ}48' E$ . Глубина гипоцентра — 10 км. Главный удар наблюдался 27 сентября 2003 г. в 18:33:26 UT. Магнитуда  $M_w=7.3$ . Отмечалось около 140 афтершоков. Главные из них зарегистрированы 27 сентября 2003 г. в 18:52:50 UT ( $M_w=6.7$ ) и 1 октября 2003 г. в 01:03:28 UT ( $M_w=7.0$ ). Сейсмические, атмосферные и ионосферные эффекты Чуйского ЗТ обсуждаются в работах [Nissen et al., 2007; Дубров, Смирнов, 2013].

*Великое Японское ЗТ.* Координаты эпицентра —  $38^{\circ}18' N$ ,  $142^{\circ}24' E$ . Главный толчок магнитудой  $M_w \approx 9.0$  наблюдался 11 марта 2011 г. в 05:46:24 UT. Глубина гипоцентра — 24.4 км, длина разлома — 380–400 км. Главный толчок сопровождался несколькими сильными форшоками и большим количеством (более 60) афтершоков.

Магнитный предвестник этого ЗТ описан в работе [Schekotov et al., 2013], а ионосферные эффекты этого ЗТ — в многочисленных работах (см., например, [Гохберг и др., 2011; Куницын и др., 2011; Перевалова и др., 2012]).

Таблица 1

Сведения о состоянии магнитной активности 27 сентября 2003 г.

$K_p$	3+	1	1-	1-	0+	0+	1-	2+
$a_p$	18	4	3	3	2	2	3	9
$D_{st}$ , нТл	-25.3	-21.3	-17.7	-13.3	-14.0	-7.6	-6.7	-4
$AE$ , нТл	197	51	46	73	61	55	46	93

Таблица 2

Сведения о состоянии магнитной активности 11 марта 2011 г.

$K_p$	5	5+	4+	2	2-	4+	5	6-
$a_p$	48	56	32	7	6	32	48	67
$D_{st}$ , нТл	-57.3	-73.0	-77.3	-67.0	-52.3	-45.3	-50.7	-61
$AE$ , нТл	520	767	542	390	414	1016	1050	632

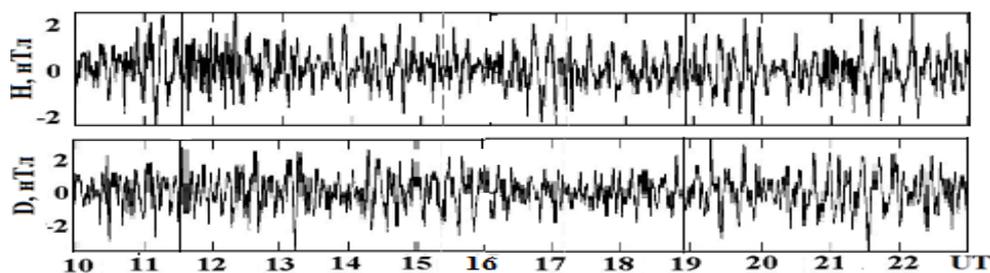


Рис. 1. Временные вариации уровня H- и D-компонент геомагнитного поля. Сплошными вертикальными линиями показано время толчков магнитудой 7.3 и 6.7 27 сентября 2003 г.

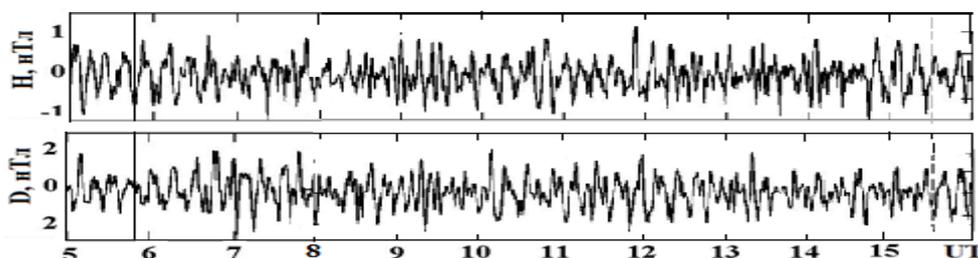


Рис. 2. Временные вариации уровня H- и D-компонент геомагнитного поля 11 марта 2011 г.

### Состояние космической погоды

Состояние космической погоды, существенное для магнитометрических наблюдений, характеризовалось индексами  $K_p$ ,  $a_p$  и усредненными на интервале времени в три часа индексами  $D_{st}$  и  $AE$ . Сведения об этих индексах приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 следует, сутки 27 сентября были магнитоспокойными. Сутки 11 марта 2011 г., напротив, были магнитовозмущенными (см. табл. 2). Индекс  $AE$  в интервале времени 18:00–19:00 превышал 1400 нТл, т. е. имела место суббурия. В конце суток  $K_p \approx 5-6$ . Однако, примерно с 12:00 по 18:00 магнитные возмущения были минимальными.

### Результаты наблюдений

*Чуйское ЗТ.* Временные вариации H- и D-компонент геомагнитного поля для 27 сентября 2003 г. приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что примерно

за 215 и 30–60 мин до главного толчка в 11:33:25 UT имело место увеличение на  $\sim 1$  нТл амплитуды колебаний обоих компонент с периодом  $T \approx 600-900$  с. После ЗТ также отмечалось увеличение уровня флуктуаций этих компонент с временами запаздывания около 20–25, 90 и 150–170 мин с  $T \approx 400-800$  с.

Повторный толчок в 18:52:47 UT привел к ЗТ с  $M_w \approx 6.4$ . С временами запаздывания около 17–27, 90 и 150–300 мин наблюдалось увеличение до 2 нТл амплитуд колебаний с  $T \approx 600-900$  с.

*Великое Японское ЗТ.* Увеличение амплитуды колебаний геомагнитного поля с периодом 600–900 с на 0.5–1.0 нТл после главного удара имело место в интервалах времени 06:45–07:25 и 05:56–06:30; 06:50–07:10 для H- и D-компонент соответственно (рис. 2). Заметим, что при этом  $K_p = 5+$ ;  $a_p = 32$ ;  $AE = 638-701$  нТл. Примерно такое же увеличение амплитуд с таким же периодом имело место в интервалах времени 08:30–09:15; 10:40–11:15; 11:45–

12:15; 13:15–13:45; 14:30–15:30 и 08:50–09:30; 10:25–10:50; 11:15–12:15; 12:40–13:35; 15:00–15:50 для Н- и Д-компонент соответственно. Важно, что при этом возмущенность геомагнитного поля была минимальной:  $K_p=2, 2-, 1$ ;  $AE=586-185$  нТл.

### Обсуждение

*Чуйское ЗТ.* Поскольку интервал времени с 09:00 до 11:30 характеризовался как магнитоспокойный, наблюдаемое увеличение амплитуды колебаний 27 сентября 2003 г. за 215 и 30–60 мин до ЗТ может быть отнесено к магнитному предвестнику. Если последовавшие за главным толчком возмущения геомагнитного поля вызваны ЗТ, то при удалении Магнитной обсерватории от эпицентра  $R$  на 3560 км скорость распространения возмущений составляла 3.0–2.4 км/с, 660 м/с и 396–349 м/с. После повторного толчка эти скорости были близки к 3.5–2.2 км/с, 660 м/с и 393–197 м/с. Наличие (или отсутствие) магнитного предвестника перед этим толчком обнаружить не удалось из-за влияния на геомагнитные флуктуации вечернего терминатора в месте расположения обсерватории.

*Великое Японское ЗТ.* Сильная магнитная возмущенность ( $K_p \text{ max}=5-, \Sigma K_p=26-, a_p \text{ max}=39, \Sigma a_p=172, AE_{\text{max}}=1076$  нТл,  $\overline{AE}=465$  нТл) 10 марта 2011 г. не позволило провести поиск возможного магнитного предвестника. Если перечисленные выше времена запаздывания связаны с реакцией геомагнитного поля на главный толчок, то при  $R \approx 7830$  км имеем характерные скорости 2.2 км/с и 250–800 м/с для Н-компоненты и 2.0 км/с и 240–710 м/с для Д-компоненты. Большая скорость соответствует сейсмической волне [Гохберг и др., 2011; Куницын и др., 2011; Перевалова и др., 2012], а меньшая – акустико-гравитационной волне [Гохберг и др., 2011; Куницын и др., 2011; Перевалова и др., 2012]. Близкие скорости наблюдались и при Чуйском ЗТ.

### Выводы

1. Измерения уровня флуктуаций геомагнитного поля, в принципе, могут использоваться в качестве инструмента для поиска магнитных предвестников ЗТ и реакции геомагнитного поля на свершившиеся ЗТ. При этом, однако, требуется очень тщательный анализ вариаций геомагнитного поля,

вызванных другими, и в первую очередь, космическими источниками.

2. Обнаруженные цуги колебаний геомагнитного поля с периодом 400–900 с, последовавшие за ЗТ, могли быть вызваны модуляцией концентрации электронов под действием сейсмических и акустико-гравитационных волн. Первым соответствуют скорости 2.2–3.5 км/с, вторым — 250–800 м/с.

3. Амплитуда наблюдавшихся цугов колебаний достигала 1.5–2.5 нТл, а длительность — 60–80 мин.

### Список литературы

- Гохберг М.Б., Стеблов Г.М., Шалимов С.Л., Вейс В.А., Грехова Е.А. Ионосферный отклик на подводное землетрясение в Японии 11.03.2011 г. по наблюдениям со спутников GPS // Геофизические процессы и биосфера. 2011. Т. 10, № 1. С. 47–63.
- Дубров М.Н., Смирнов В.М. Взаимосвязанные возмущения земной поверхности, атмосферы и ионосферы Земли // Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т. 53, № 1. С. 53–63.
- Куницын В.Е., Нестеров И.А., Шалимов С.Л. Мегаземлетрясение в Японии 11 марта 2011 г.: регистрация ионосферных возмущений по данным GPS // Письма в ЖЭТФ. 2011. Т. 94, № 8. С. 657–661.
- Перевалова Н.П., Воейков С.В., Ясюкевич Ю.В., Ишин А.Б., Воейкова Е.С., Саньков В.А. Исследование ионосферных возмущений, вызванных землетрясением в Японии 11 марта 2011 г., по данным сети GEONET // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 3. С. 172–180.
- Романова Н.В., Пилипенко В.А., Степанова М.В. О магнитном предвестнике Чилийского землетрясения 27 февраля 2010 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2015. Т. 55, № 2. С. 231–234.
- Шестопалов И.П., Белов С.В., Соловьев А.А., Кузьмин Ю.Д. О генерации нейтронов и геомагнитных возмущениях в связи с Чилийским землетрясением 27 февраля и вулканическим извержением в Исландии в марте—апреле 2010 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т. 53, № 1. С. 130–142.
- Nissen E., Emmerson B., Funning G.J., Mistrukov A., Parsons B., Robinson D.P., Rogozhin E., Wright T.J. Combining In SAR and seismology to study the 2003 Siberian Altai earthquakes — dextral strike-slip and anticlockwise rotations in the Northern India—Eurasia collision zone // Geophys. J. Int. 2007. V. 169. P. 216–232.
- Schekotov A., et al. ULF magnetic field depression as a possible precursor to the 2011/3.11 Japan earthquake // J. Atmos. Electricity. 2013. V. 33, N 1. С. 41–51.