

УДК 550.388, 550.510

ГЕОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

А. А. Спивак*, С. А. Рябова

Представлено академиком РАН В.В. Адушкиным 26.02.2019 г.

Поступило 04.03.2019 г.

На основе результатов инструментальных наблюдений, выполненных в ряде среднеширотных обсерваторий сети INTERMAGNET и в Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН, показано, что сильные землетрясения сопровождаются повышенными вариациями магнитного поля Земли. При этом отчётливо выделяется короткопериодная стадия повышенных геомагнитных вариаций (период ~ 0,5–0,8 мин) и длиннопериодная (период ~ 5–20 мин). Максимальная амплитуда наведённых геомагнитных вариаций составляет 1,5–2 нТл и 2–4 нТл соответственно для короткопериодных и длиннопериодных колебаний. Отмечен сходный по морфологии и практически синхронный характер вызванных геомагнитных возмущений в обсерваториях, расположенных на существенно разных расстояниях от очага землетрясения.

Ключевые слова: землетрясение, геомагнитное поле, цифровые данные, атмосфера, вариация.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524882197-201>

Изучение вариаций магнитного поля Земли, сопровождающих явления и процессы природного и техногенного происхождения, представляет значительный интерес как для понимания их внутренних механизмов, так и для описания закономерностей их развития. Наряду с этим вызванные геомагнитные вариации содержат важную информацию, которая востребована при разработке моделей взаимодействий и преобразования геофизических полей, а если говорить в целом — для установления природы и механизмов межгеосферных взаимодействий [1].

Землетрясения, особенно сильные, представляют собой яркий пример проявления природных сил. Значительные механические эффекты в очаговой области землетрясения, резкие изменения электрофизических свойств среды, а также другие сопутствующие землетрясению явления, такие, например, как возбуждение мощных сейсмических сигналов, — всё это оказывает влияние на режимы геофизических полей, включая геомагнитное поле [2, 3]. Несмотря на то, что неоднократно отмечалось возмущение магнитного поля Земли на последней стадии подготовки землетрясения и в период основного толчка [4–10], ощущается определённый недостаток наблюдательного материала, необходимого при разработке, а главное, при верификации прогностических признаков землетрясения и моделей его очага.

В настоящем сообщении рассматривается геомагнитный эффект, сопровождающий сильные землетрясения. В качестве исходных данных использо-

вались цифровые ряды инструментальных наблюдений, выполненных в ряде среднеширотных обсерваторий сети INTERMAGNET и в ГФО «Михнево» (МНВ) ИДГ РАН. Анализировались вариации магнитного поля при сейсмических событиях, произошедших в разных регионах с магнитудой, превышающей ~5.

В качестве примера на рис. 1 приведена запись компонентов магнитного поля Земли, полученная в ГФО МНВ в период землетрясения 29.08.2018 г. (Новая Каледония). Землетрясение магнитудой $M=7,1$ произошло в 03:51:56 UT на глубине ~26 км. Приведенные на рис. 1 данные свидетельствуют о ярко выраженных вариациях магнитного поля в период землетрясения. При этом отчетливо выделяется короткопериодная стадия повышенных геомагнитных вариаций с периодом ~ 45 с, начало которой зафиксировано в ~03:53 UT, фактически сразу после основного толчка. Максимальная амплитуда вариаций на этой стадии составила ~ 4 нТл, её длительность ~ 3 мин. Как это видно из рис. 1 коротко-

Таблица 1. Пункты геомагнитных наблюдений

Наименование	Обозначение	Широта, град	Долгота, град
Бельск (Польша)	BEL	51,84	20,79
Борок (Россия)	BOX	58,07	38,23
Иркутск (Россия)	IRT	54,27	104,45
Киев (Украина)	KIV	50,72	30,3
Львов (Украина)	LVV	49,9	23,75
Михнево (Россия)	MHV	54,94	37,73
Новосибирск (Россия)	NVS	54,85	83,23
С.-Петербург (Россия)	SPG	29,458	29,716

Институт динамики геосфер Российской Академии наук, Москва

* E-mail: spivak@idg.chph.ras.ru

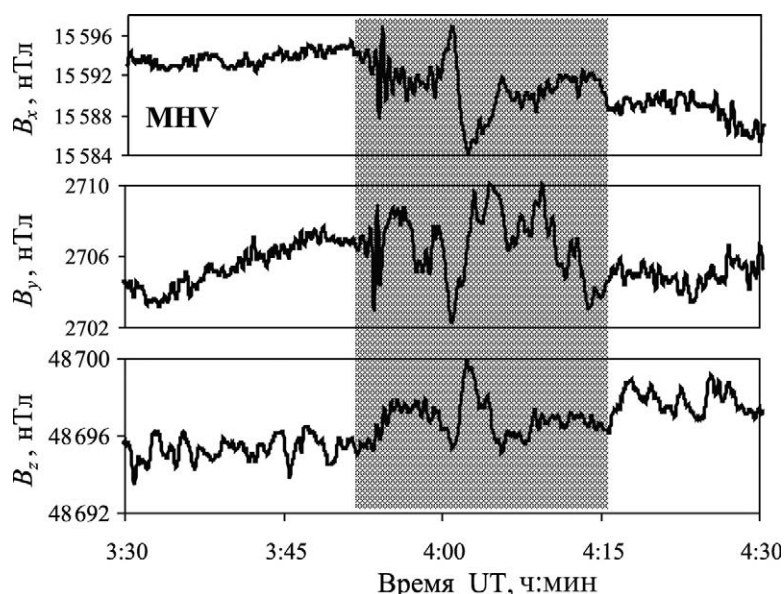


Рис. 1. Вариации геомагнитной индукции в период землетрясения 29.08.2018 г. в Новой Зеландии (фоном выделены наведенные вариации магнитного поля).

Таблица 2. Перечень рассмотренных землетрясений

№ п/п	Дата	Время UT	Магнитуда	Район
1	25.09.2018	06:17	5,0	Мексика
2	16.09.2018	11:48	6,5	О-ва Фиджи
3	12.09.2018	04:50	5,3	Индия
4	07.09.2018	02:10	6,2	Эквадор
5	06.09.2018	15:49	7,9	О-ва Фиджи
6	29.08.2018	03:52	7,1	Новая Каледония
7	28.08.2018	22:35	6,4	Марианские о-ва
8	19.08.2018	14:56	6,9	Индонезия
9	15.08.2018	21:56	6,5	Аляска
10	12.08.2018	14:58	6,3	Аляска
11	07.07.2018	21:33	6,0	Нов. Зеландия
12	09.05.2018	10:41	6,2	Таджикистан
13	02.05.2018	06:32	6,0	Исландия
14	15.04.2018	19:30	6,0	Индонезия
15	29.03.2018	21:25	6,9	Нов. Гвинея
16	27.02.2018	17:29	6,1	О-в Маккуори
17	26.02.2018	13:34	6,1	Индонезия
18	11.02.2018	23:14	6,0	Марианские о-ва
19	28.01.2018	16:03	6,2	Афганистан
20	24.01.2018	10:50	6,3	Япония
21	10.01.2018	02:51	7,5	Гондурас
22	23.11.2016	11:37	5,0	Прибайкалье
23	14.08.2016	11:15	6,3	Сахалин
24	13.05.2016	17:47	5,2	Сев. Кавказ
25	14.04.2016	03:06	6,2	Камчатка
26	03.02.2016	18:27	4,8	Прибайкалье
27	02.01.2016	04:22	6,1	Приамурье
28	24.05.2014	09:30	6,9	Эгейское море

периодные вариации в большей степени проявились на горизонтальных компонентах магнитного поля. Вслед за короткопериодной наблюдается стадия длиннопериодных вариаций с максимальной амплитудой $\sim 5,5$ нТл длительностью около 7 мин. Начало этой стадии вариаций с периодом ~ 5 мин фиксируется в $\sim 03:59$ UT. На этой стадии, также как и на короткопериодной, амплитуда вариации горизонтальной компоненты примерно вдвое превышает амплитуду вариаций вертикальной компоненты магнитного поля.

Наряду с рассмотренной наблюдаются ситуации, когда в период сильного землетрясения длиннопериодные геомагнитные вариации регистрируются до основного толчка. При этом короткопериодные возмущения, которые наблюдаются, как правило, при мелкофокусных событиях с глубиной менее ~ 30 км, регистрируются во всех случаях после основного толчка с небольшой задержкой. Как пример, на рис. 2 представлены результаты регистрации магнитного поля, выполненные в обсерватории MNV в период землетрясения 24.05.2014 г. (Эгейское море, магнитуда по разным данным от 6,4 до 6,9; время в очаге $\sim 09:30$ UT, глубина 10–29 км). Из данных рис. 2 следует, что начало длиннопериодной стадии геомагнитных возмущений с периодом ~ 5 мин фиксируется в 09:23 UT (т.е. за ~ 7 мин до основного толчка). Максимальная амплитуда вариаций B_H на этой стадии составляет $\sim 2,5$ нТл, длительность ~ 10 –12 мин.

Начало короткопериодных возмущений (период $\sim 0,6$ мин) регистрируются в 09:35 UT (спустя ~ 5 мин после основного толчка). Максимальная амплитуда

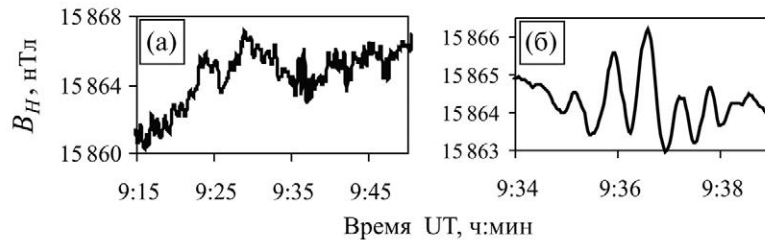


Рис. 2. Длиннопериодная (а) и короткопериодная (б) стадии вариаций геомагнитной индукции в период землетрясения 24.05.2014 г. в Эгейском море.

вариаций составляет $\sim 1,5$ нТл. При этом выделяется основное возмущение длительностью ~ 3 мин и амплитудой $\sim 1,5$ нТл, после которого в течение некоторого времени наблюдаются повышенные вариации B_H .

Представляет интерес рассмотрение геомагнитных возмущений в обсерваториях, расположенных на разных расстояниях от очага землетрясения. В качестве примера на рис. 3 приведены записи горизонтальной, наиболее возмущённой компоненты B_x , полученные в период землетрясения 09.05.2018 г. (Таджикистан, $M=6,2$, время в очаге 10:41:45 UT, глубина более 100 км). Из данных рис. 3 следует, что в этом случае наблюдаются только длиннопериодные геомагнитные возмущения (средний период ~ 17 мин), которые имеют сходную морфологию и возникают практически одновременно (в 10:33–10:35 UT) на записях обсерваторий, отстоящих друг от друга на значительное расстояние (достаточно, например, сравнить записи, полученные в г. Иркутске (IRT) и в Польше (BEL), расстояние между которыми превышает 5000 км).

Особенность данных, представленных на рис. 3, состоит в том, что, как и в случае события 24.05.2014 г., длиннопериодные геомагнитные возмущения регистрируются за ~ 7 мин до основного толчка.

Вопрос о механизмах влияния сейсмического события на магнитное поле в настоящее время нельзя считать окончательно решённым. Установление их природы требует проведения более детальных исследований. Тем не менее, учитывая время наблюдения стадии короткопериодных геомагнитных вариаций, с большой долей вероятности можно предполагать, что эти возмущения вызваны основным толчком. Длиннопериодные вариации, по всей видимости, связаны с возмущениями геофизической среды (атмосферы, ионосферы), возникающими на крайней стадии подготовки очага землетрясения и в процессе сейсмического события. Действительно, известны процессы, непосредственно предваряющие землетрясения и способные привести к возмущению магнитного поля [7, 11]. В таком качестве могут вы-

ступать, например, любые механоэлектрические процессы. Перед сильными землетрясениями наблюдаются форшоки, движения, деформации и растрескивание горных пород, изменение их напряжённого состояния, изменение интенсивности эманаций подземных газов и уровня подземных вод и т.д., что приводит к разделению электрических зарядов в твёрдой среде, изменению токовых систем и в результате — к возмущению ионосферы [5].

Объяснение геомагнитных вариаций при землетрясениях за счёт сейсмических волн (сейсмомагнитный эффект), при котором скорости распространения сигнала составляют первые тысячи километров в секунду, либо перемещающихся ионосферных возмущений (скорости от 150 до 3000 м/с) [12] не объясняет достаточно высокую синхронность наведённых геомагнитных вариаций в пунктах, расположенных на разных, в ряде случаев значительных расстояниях друг от друга, как это показано выше. Вероятнее всего, в нашем случае возмущение магнитного поля вызвано магнитными пульсациями земного происхождения [4] либо возмущениями в ионосфере Земли в эпицентральной зоне очага землетрясения, которые привели к дестабилизации глобальных токовых систем. В качестве механизма воздействия землетрясения на ионосферу можно рассматривать, например, изменение концентрации электронов под действием акустико-гравитационных волн, генерируемых у земной поверхности в период активности геодинамических процессов непосредственно перед, во время и сразу после землетрясения [5, 13–15]. При этом следует отметить, что имеющиеся данные свидетельствуют о принципиальной возможности регистрации сопутствующих землетрясению геомагнитных возмущений, в ряде случаев задолго (примерно за 10 ч) до основного толчка [7].

Источники финансирования. Исследования выполнены по Программе фундаментальных исследований президиума РАН № 19 “Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов”.

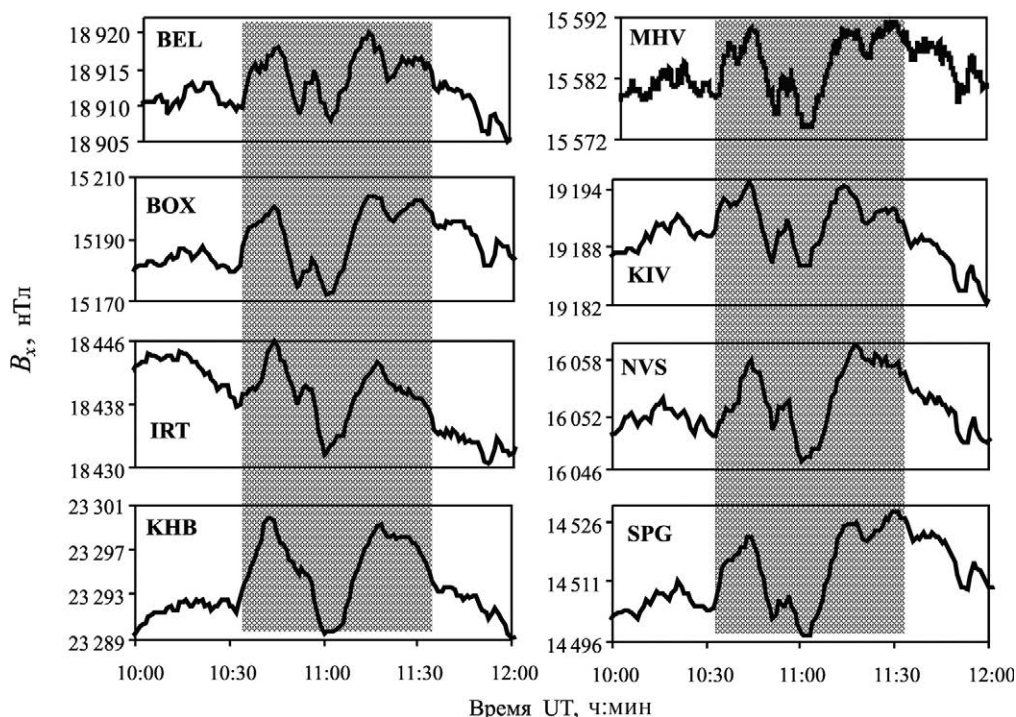


Рис. 3. Вариации геомагнитной индукции в период землетрясения 09.05.2018 г. в Таджикистане (фоном выделены наведённые вариации магнитного поля).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Физические поля в приповерхностной геофизике. М.: Геос, 2014. 360 с.
2. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 312 с.
3. Адушкин В.В., Локтев Д.Н., Спивак А.А. Сейсмомагнитный отклик разломной зоны // Физика Земли. 2017. № 1. С. 87–96.
4. Зотов О.Д., Гильельми А.В., Собисевич А.Л. О магнитных предвестниках землетрясений // Физика Земли. 2013. № 6. С. 139–147.
5. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Мейстер К.-В., Липеровская Е.В. Физические модели связей в системе литосфера-атмосфера-ионосфера перед землетрясениями // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48. № 6. С. 831–843.
6. Романов 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.
7. Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Лиходеев Д.В. О гравимагнитных возмущениях, предваряющих сейсмические события // ДАН. 2017. Т. 475. № 4. С. 444–447.
8. Fraser-Smith A.C. Ultralow-frequency magnetic fields preceding large earthquakes // EOS. 2008. V. 89. № 23. P. 211.
9. Hattori K. ULF Geomagnetic changes associated with large earthquakes // TAO. 2004. V. 15. № 3. P. 329–360.
10. Utada H., Shimizu H., Ogawa T., Maeda T., Furumura T., Yamamoto T., Yamazaki N., Yoshitake Y., Nagamachi S. Geomagnetic Field Changes in Response to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake and Tsunami // Earth and Planet. Sci. Lett., 2011. V. 311. P. 11–27.
11. Xu G., Han P., Huang Q., Hattori K., Febriani F., Yamaguchi H. Anomalous Behaviors of Geomagnetic Diurnal Variations Prior to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0) // J. Asian Earth Sci., 2013. V. 77. P. 59–65.
12. Перевалова Н.П., Шестаков Н.В., Воейков С.В., Быков В.Г., Герасименко М.Д., Парк Р.Н. Исследование распространения ионосферных возмущений, вызванных землетрясением Tohoku, в дальней от очага зоне // Совр. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 186–196.
13. Гармаш С.В., Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Швед Г.М. Возбуждение колебаний атмосферы сейсмогравитационными колебаниями Земли // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25. № 12. С. 1290–1299.
14. Chum J., Hruska F., Zednik J., Lastovicka J. Ionospheric Disturbances (Infrasonic Waves) over the Czech Republic Excited by the 2011 Tohoku Earthquake // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. A08319.
15. Tsugawa T., Saito A., Otsuka Y., Nishioka M., Maruyama T., Kato H., Nagatsuma T., Murata K.T. Ionospheric Disturbances Detected by GPS Total Electron Content Observation after the 2011 Tohoku Earthquake // Earth, Planets and Space. 2011. V. 63. № 7. P. 875–879.

GEOMAGNETIC EFFECT OF EARTHQUAKES**A. A. Spivak, S. A. Riabova***Institute of Geospheres Dynamics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS V.V. Adushkin February 26, 2019

Received March 4, 2019

Based on the results of instrumental observations carried out at a number of mid-latitude observatories of the INTERMAGNET network and at the Mikhnevo Geophysical Observatory of Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences, it is shown that strong earthquakes are accompanied by increased variations of Earth's magnetic field. In this case, the short-period stage (period $\sim 0.5\text{--}0.8$ min) and long-period stage (period $\sim 5\text{--}20$ min) of increased geomagnetic variations are clearly distinguished. The maximum amplitude of induced geomagnetic variations is 1.5–2 nT and 2–4 nT, respectively, for short-period and long-period variations. A similar in morphology and almost synchronous nature of the induced geomagnetic disturbances at the observatories located at significantly different distances from the earthquake source is noted.

Keywords: earthquake, geomagnetic field, digital data, atmosphere, variation.