

УДК 550.3; 550.4

СИНХРОННЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО И МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЕЙ НА ГФО «МИХНЕВО» ИДГ РАН

В.В. Адушкин, С.А. Рябова, А.А. Спивак, В.А. Харламов

Приведены и обсуждаются результаты синхронной регистрации геомагнитного поля и сейсмических измерений на поверхности земной коры, выполненные на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН. Приводится статистика магнитных бурь с внезапным началом (SSC-события) и внезапных геомагнитных импульсов (SI-события). Показано, что положительные импульсы при SSC и SI-событиях, сопровождающие магнитные возмущения, вызывают повышенные амплитудные вариации фоновых сейсмических колебаний в частотном диапазоне 0,001–0,1 Гц. Впервые установлена количественная зависимость между амплитудой внезапного геомагнитного импульса и максимальной амплитудой вариации среднеквадратической скорости колебаний в сейсмическом фоне.

Введение

Земля с ее внешними геосферами представляет собой сложную, но единую физическую систему. Продолжительное существование этой системы позволяет предполагать, что она находится в состоянии динамического равновесия. Однако это не исключает того, что в системе Земля/геосферы происходят массо- и энергообменные процессы, как между геосферами, так и внутри каждой из них. Очевидно, что в качестве одного из основных механизмов таких взаимодействий следует рассматривать взаимодействие и преобразование геофизических полей.

Взаимодействие и преобразование геофизических полей на приповерхностных участках земной коры представляет особый интерес при установлении природы и механизмов межгеосферных взаимодействий и определении влияния геофизических полей на среду обитания [Адушкин и др., 2006; Экология..., 2006].

Одним из наиболее важных для повседневной деятельности человека является поле фоновых сейсмических колебаний (микросейсмическое поле), отражающее свойства конкретного участка земной коры (например, наличие активных разломных зон, подвижность либо, наоборот, стабильность блоковой системы) и содержащее информацию об изменчивости геодинамического состояния земной коры со временем [Спивак, 2010; Спивак, Кишкина, 2004]. По этой причине представляется весьма важным установление возможных связей между микросейсмическим полем и другими геофизическими полями.

В настоящей работе ставится задача исследования возможной связи между геомагнитными возмущениями на земной поверхности и поля микросейсмических колебаний.

Вопрос о возможном влиянии магнитных бурь и, в первую очередь магнитных бурь с внезапным началом (так называемые SSC-события), на сейсмичность неоднократно рассматривался в литературе [Сытинский, 1989; Барсуков, 1991; Соболев и др., 2001; Закржевская, Соболев, 2002]. В меньшей степени обсуждался вопрос о влиянии магнитных бурь на сейсмический фон [Попова и др., 2011; Сычева и др., 2011].

Используемые данные

В качестве исходных данных использовались результаты синхронной регистрации геомагнитных вариаций и сейсмических колебаний на среднеширотной Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН (54,959°N; 37,766°E) [Адушкин и др., 2005]. Привлекались данные, полученные за период 2008–2011 гг.

Регистрация локальных геомагнитных вариаций выполнялась с помощью феррозондового магнитометра LEMI-018, электронный блок которого обеспечивает соответствующее преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление. Передача данных в компьютер и в дальнейшем с помощью линии связи на основной сервер ИДГ РАН осуществляется с помощью интерфейса RS-232. Сейсмические измерения выполнялись с помощью сейсмоприемников CM-3KB и STRECKEISEN STS-2, сбор и накопление данных проводилось с помощью программируемого регистратора QUANTERRA-380. Предварительно с помощью разработанной ранее методики [Горюнов и др., 2003] было установлено отсутствие наводки на измерительные контуры сейсмоприемников при магнитных вариациях, амплитудой до 5 мкТл (амплитуда исследуемых геомагнитных вариаций не превышала 0,3 мкТл).

Результаты регистрации геофизических полей на ГФО «Михнево» размещены на сайте ИДГ РАН [idg-cormp/chph/ras/ru/~mikhnevo/data/magnet].

Фоновые вариации геофизических полей на ГФО «Михнево»

Предварительно исследовались фоновые характеристики геомагнитных вариаций (в отсутствие значимых возмущений и магнитных бурь) и сейсмического фона. Обработка и анализ данных регистрации показал, что амплитудные характеристики и периодичности вариаций сейсмического фона совпадают с установленными ранее [Спивак, Кишкина, 2004], а характер суточного хода геомагнитного поля в эти периоды практически не зависит от времени года и характеризуется наличием небольшого уменьшения магнитной индукции поля в первой половине мировых суток, в основном, за счет S_q -вариаций. При этом амплитуда этих вариаций не превышает 20–30 нТл при скорости изменения геомагнитного поля в диапазоне 1–3 нТл/час.

Геомагнитные вариации импульсного типа

Анализ геомагнитных наблюдений показал, что на ГФО «Михнево» значительное количество суток (примерно 30%) характеризуется повышенной геомагнитной активностью. При этом наблюдаются геомагнитные вариации трех типов: 1) – локальная магнитная буря с внезапным началом (SSC-события), когда отчетливо регистрируется, как правило, достаточно кратковременный (длительностью 20–

120 мин) положительный импульс, предшествующий собственно магнитной буре, которая характеризуется уменьшением горизонтальной составляющей магнитного поля Земли; 2) – одиночный внезапный импульс (SI-события), когда локальная магнитная буря не развивается и 3) – внезапный импульс на фоне сформировавшейся локальной магнитной бури (SMI-событие¹).

В качестве примера на рис. 1, а-в приведены геомагнитные вариации, характерные для перечисленных выше 3-х случаев (представлена основная B_x компонента в направлении на географический север).

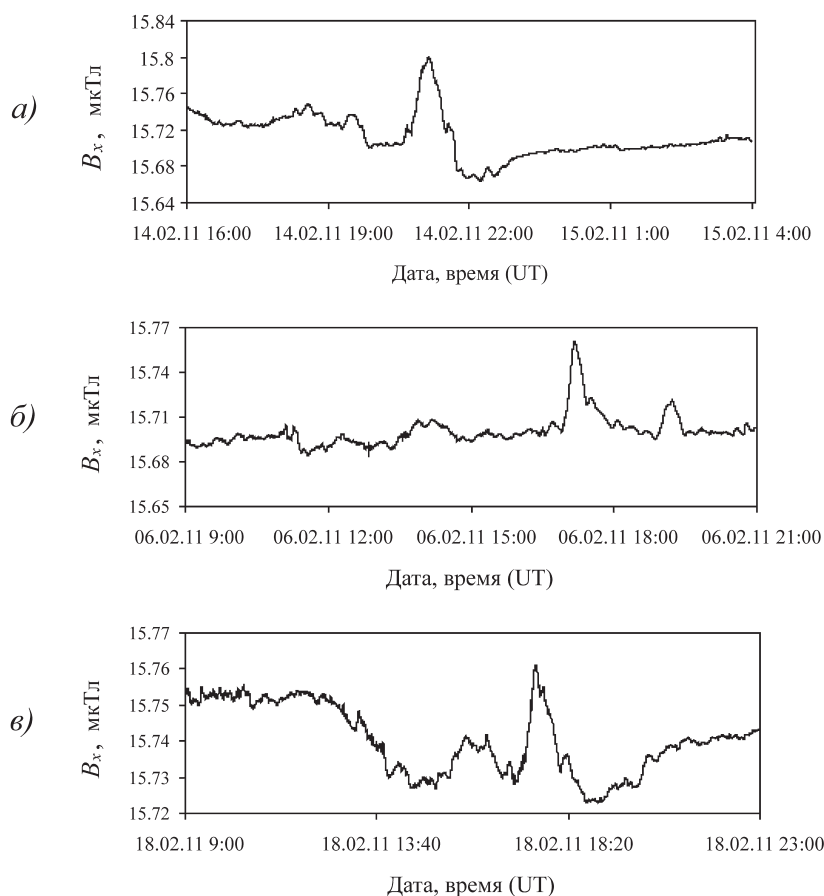


Рис. 1. Геомагнитные вариации разного типа в периоды магнитных бурь.
 (а) – SSC-событие в период магнитной бури $K = 5$; (б) – SI-событие в период магнитной бури $K = 4$;
 (в) – SMI-событие в период магнитной бури $K = 3$.

Статистика локальных геомагнитных вариаций разного типа, зарегистрированных на ГФО «Михнево» в период 2008–2011 гг. представлена в табл. 1.

Относительная амплитуда положительного импульса, которая определялась как разность $B = B_I - B_T$, где B_I и B_T – соответственно максимальный в импульсе средний за час перед импульсом модуль горизонтального вектора магнитной индукции,

¹ Обозначение введено в данной статье.

Таблица 1

**Статистика геомагнитных вариаций на ГФО «Михнево» ИДГ РАН
за период 2008 – 2011 гг.**

К	2008 г.						2009 г.						2010 г.						2011 г.						Всего					
	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI		
3	66	–	12	1	43	1	10	–	60	1	16	5	63	1	18	3	232	3	56	9	232	3	56	68						
			13			11					22				22															
			54																											
4	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI		
	17	1	15	1	5	4	4	1	22	2	14	2	33	1	12	–	77	8	45	4	77	8	45	57						
			17				9				18				13															
5	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI		
	3	2	4	2	–	2	–	–	1	3	3	–	7	3	4	–	11	10	11	2	11	10	11	23						
			8				2				6				7															
6	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI		
	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	2	2	1	2	3	–	1	2	6	2	1	2	6	2						
			1				–				4				5															
7	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI		
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
			–				–				4				1															
По годам																														
	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI	MS	SSC	SI	SMI		
	86	3	32	4	48	7	14	1	83	6	35	9	104	8	37	3	321	24	118	17	321	24	118	159						
			39				22				50				48															
			125				70				133				152															

Примечание: MS – классическая магнитная буря, SSC – SI и SMI – события.

составляла при этом величину от 20 до 300 нТл при скорости изменения магнитного поля в диапазоне 20–600 нТл/час.

Здесь следует отметить, что в настоящей работе наряду с событиями, для которых стационарный индекс геомагнитной активности $K \geq 4$, и которые традиционно рассматриваются как локальные магнитные бури, анализировались внезапные импульсы событий с $K = 3$ (возмущенное состояние локального геомагнитного поля), амплитуда которых превышала 15 нТл, поскольку диапазоны амплитуд внезапных импульсов ряда событий с разными значениями индекса K , как это следует из данных табл. 2, заметно пересекаются.

Наличие известных механизмов преобразования энергии магнитного поля в механическую энергию неоднородного по строению и сложного по составу земного вещества (магнитострикция, изменение существующих в земной коре токовых систем, движение проводящих структур в изменяющемся магнитном поле, реакция заполненных флюидом пор и трещин и т.д.) позволяет предполагать, что регистрируемые нами геомагнитные вариации импульсного типа могут вызывать изменение режима механических процессов в земной коре.

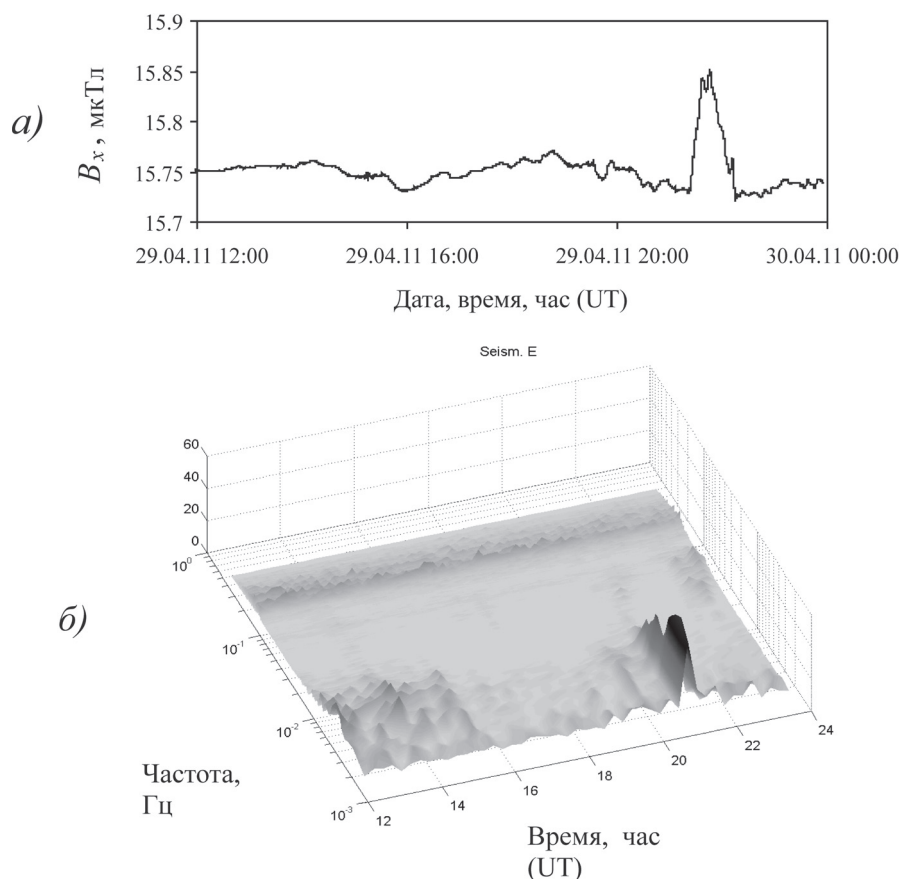


Рис. 2. Пример синхронных вариаций магнитного поля ($K = 5$; вариация SI типа) и сейсмического шума (ГФО «Михнево», 29.04.2011 г.).

(a) – геомагнитные вариации; (б) – вариации амплитуды сейсмического фона (компонента север-юг).

Таблица 2

**Относительная амплитуда внезапного геомагнитного импульса
для событий с разным станционным индексом локальным K**

K	Диапазон амплитуд геомагнитных вариаций, нТл						
	10–40	40–60	60–80	80–100	100–150	150–200	200–300
3	■						
4	■	■	■				
5		■	■	■	■		
6		■	■	■	■	■	
7							■

**Результаты сопоставления синхронных вариаций сейсмического фона
и геомагнитных вариаций на ГФО «Михнево»**

Обработка и анализ данных синхронных наблюдений за геомагнитными вариациями и амплитудой сейсмического фона показывают, что во время импульсных вариаций магнитного поля, как правило, наблюдается повышение уровня сейсмического фона (для определения времени запаздывания реакции микросейсмического фона на геомагнитные возмущения, которое в ряде случаев отмечается, требуется более детальное изучение). При этом спектральный анализ свидетельствует о том, что отклик сейсмического фона на геомагнитные вариации наблюдается в частотном диапазоне 0,001–0,1 Гц (см. пример на рис. 2). Пример прямого сопоставления геомагнитных и амплитудных вариаций сейсмического фона в диапазоне частот 0,001–0,1 Гц для одного из событий приведен на рис. 3.

С целью установления количественного соответствия между вариациями сейсмического фона и геомагнитными вариациями анализировалась выборка из 32-х

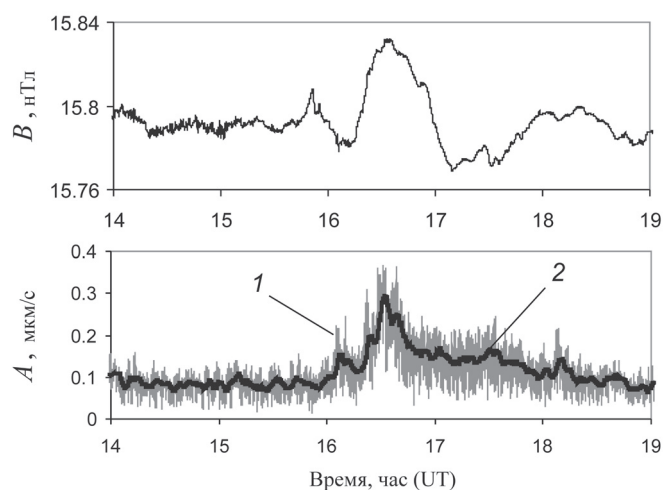


Рис. 3. Пример синхронных вариаций относительной амплитуды внезапного геомагнитного импульса B (верхняя панель) и скорости колебаний в микросейсмическом фоне A в частотном диапазоне 0,001–0,1 Гц (нижняя панель) на Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН 30.10.2008 г. в период магнитной бури ($K = 5$).

1 – вариация амплитуды горизонтального вектора скорости колебаний в диапазоне частот 0,001–1 Гц,
2 – скользящее среднее значение скорости колебаний (усреднение в окне 200 с).

наиболее ярко выраженных событий. Амплитудные вариации сейсмического фона характеризовались максимальной амплитудой скорости колебаний V_m за вычетом тренда. Результаты анализа представлены на рис. 4 в виде зависимости максимального значения усредненных вариаций скорости фоновых колебаний V_m в диапазоне частот 0,001–0,1 Гц от относительной амплитуды геомагнитного импульса B .

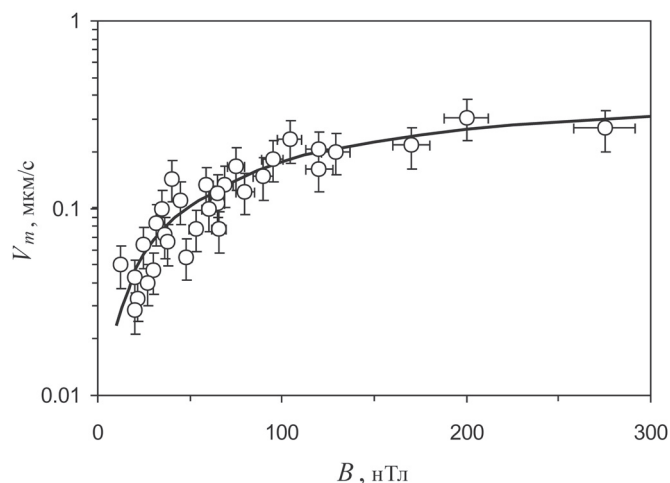


Рис. 4. Зависимость между относительной амплитудой внезапного геомагнитного импульса B и максимальным значением вариаций среднеквадратической скорости колебаний в микросейсмическом фоне V_m в диапазоне частот 0,001–0,1 Гц. Горизонтальными и вертикальными черточками обозначена неопределенность в установлении значений соответствующих величин.

Из данных рис. 4 хорошо видно, что более сильным геомагнитным вариациям соответствуют более интенсивные вариации скорости колебаний сейсмического фона. При этом существенно, что в диапазоне 20–100 нТл величина отклика микросейсмического поля растет практически линейно с величиной B , а затем по мере увеличения амплитуды геомагнитных вариаций зависимость $V_m(B)$ «выполаживается», что может свидетельствовать о снижении уровня отклика сейсмического фона на геомагнитные возмущения по мере возрастания их интенсивности.

Аналитически полученная зависимость $V_m(B)$ с достаточной для практических оценок точностью аппроксимируется зависимостью:

$$V_m = 0,35 \{1 - e^{-0,007B}\} \text{ мкм/с,}$$

где B выражено в нТл.

Заключение

Полученные данные могут свидетельствовать о наличии связи между амплитудой геомагнитных вариаций и вероятным откликом сейсмического фона в конкретных условиях ГФО «Михнево». Установленная в настоящей работе корреляция между геомагнитными вариациями импульсного типа и вариациями амплитуды поля микросейсмических колебаний позволяет в данном случае лишь предполагать их причинно-следственную зависимость, в частности, возможность влияния геомагнитных возмущений на изменение интенсивности сейсмического фона.

Для обоснования прямой зависимости между указанными процессами и, тем более, установления возможного механизма влияния геомагнитных возмущений на поле фоновых сейсмических колебаний требуется проведение дальнейших исследований обнаруженного нами эффекта и разработка соответствующих аналитических и расчетных моделей взаимодействия рассматриваемых геофизических полей.

Полученные на материале среднеширотной Геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН данные могут служить основой для продолжения исследований в выбранном направлении, в частности, для установления соответствия между геомагнитными вариациями и вариациями поля фоновых сейсмических колебаний в других условиях, отличающихся, например, свойствами конкретных участков земной коры, наличием и особенностями распространения дизъюнктивов и т.д., для чего необходимо будет провести анализ аналогичных результатов наблюдений, выполненных в других районах.

Исследования выполнены по Программе 8 Отделения наук о Земле РАН «Взаимодействие геосфер: геофизические поля и массоперенос» при поддержке Совета по грантам при Президенте РФ по поддержке ведущих научных школ НШ-203.2012.5 и РФФИ (грант 11-05-00096-а).

Литература

Адушкин В.В., Зецер Ю.И., Гаврилов Б.Г., Санина И.А., Спивак А.А. Комплекс измерений геофизических полей и процессов взаимодействия геосфер обсерватории «Михнево» // Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер: сб. науч. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2005. С. 13–18.

Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С. 34–51.

Барсуков О.М. Солнечные вспышки, внезапные начала и землетрясения // Физика Земли. 1991. № 12. С. 93–97.

Горюнов Б.Г., Кабыченко Н.В., Павлов Д.В., Свинцов И.С. Реакция электродинамических сейсмопремников на внешние магнитные поля // Геофизические процессы в нижних и верхних оболочках Земли. М.: ИДГ РАН, 2003. С. 361–364.

Закржевская Н.А., Соболев Г.Н. О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность // Физика Земли. 2002. № 4. С. 3–15.

Попова О.Г., Жигалин А.Д., Коновалов Ю.Ф. Связь изменения напряженного состояния земной коры с солнечными затмениями и магнитными бурями // Геоэкология. 2011. № 3. С. 55–71.

Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. 2001. № 11. С. 62–72.

Спивак А.А., Кишкина С.Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды // Физика Земли. 2004. № 7. С. 35–49.

Спивак А.А. Особенности геофизических полей в разломных зонах // Физика Земли. 2010. № 4. С. 55–66.

Сытинский А.Д. О связи землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли. 1989. № 2. С. 13–30.

Сычева Н.А., Богомолов Л.М., Сычев В.Н. О геоэффективных солнечных вспышках и вариациях уровня сейсмического шума // Физика Земли. 2011. № 3. С. 55–71.

Экология и человек в изменяющемся мире / Н.А. Агаджанян, С.И. Александров, О.И. Аптекаева и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 670 с. idg-cormp/chph/ras/ru/~mikhnevo/data/magnet/