

УДК 550:3; 550:4

## ВОЗМУЩЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ФОНА ГЕОМАГНИТНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

© 2017 г. С.А. Рябова, А.А. Спивак

*Институт динамики геосфер РАН, г. Москва, Россия*

Представлены результаты анализа синхронных инструментальных наблюдений за вариациями геомагнитного поля на земной поверхности и сейсмического фона, выполненных на Геофизической обсерватории “Михнево” Института динамики геосфер РАН в 2008–2015 гг.

Показано, что геомагнитные импульсы (*SI*-сигналы) и внезапные начала магнитных бурь (*SSC*-сигналы) могут вызывать повышение вариаций сейсмического фона в диапазоне частот 0.01–0.1 Гц. Установлена зависимость между амплитудами геомагнитных вариаций импульсного типа и вызванных вариаций фоновых сейсмических колебаний.

**Ключевые слова:** геомагнитные вариации, импульсы, сейсмические колебания, разломная зона, преобразование энергии.

### Введение

Взаимодействие и преобразование геофизических полей лежит в основе многих явлений и процессов, протекающих на Земле. В связи с этим особый интерес представляет преобразование энергии геофизических полей разной природы, которое определяет не только механизмы межгеосферных взаимодействий на глобальном уровне, но и, что не менее важно, формирование локальных условий среды обитания человека. Интенсивность преобразования энергии геофизических полей разной природы определяется свойствами среды. Таким образом, можно полагать, что характеристики энергообменных процессов содержат информацию о свойствах среды.

Отмеченное открывает возможности совершенствования и создания новых подходов и методов диагностики и контроля состояния среды на основе анализа результатов взаимодействия и преобразования геофизических полей. Эта задача представляется весьма актуальной как с фундаментальной, так и с практической точки зрения. Известны сложности, возникающие при использовании традиционных методов при картировании зон с аномальными свойствами (разломы, карстовые пустоты, залежи полезных ископаемых и т.д.), ранжировании участков разломных зон и земной коры по степени активности, а также при установлении изменений геодинамического режима или структуры исследуемого участка земной коры во времени.

Нас заинтересовал вопрос, связанный с взаимодействием магнитного поля Земли и микросейсмических колебаний в континентальной земной коре, в частности, исследование возможной связи между геомагнитными возмущениями на земной поверхности и сейсмическим фоном. Качественная связь между геоэффективными солнечными событиями, сопровождаемыми магнитными бурями с внезапным началом, и сейсмичностью Земли (количеством землетрясений) неоднократно рассматривалась в литературе [Сытинский, 1989; Барсуков, 1991; Соболев, Закржевская, Харин, 2001; Simpson, 1968]. Тем не менее вопрос представляется сложным, поскольку эффект, по всей видимости, носит мерцательный характер, как это отмечается в работе [Закржевская, Соболев, 2002], а в работе [Yesugey, 2009] связь между магнитными бурями и сейсмичностью вообще не выявлена.

В меньшей степени обсуждался вопрос о влиянии магнитных бурь на сейсмический фон. Как показано в [Попова, Жигалин, Коновалов, 2011; Сычева, Богомолов, Сычев, 2011], отклик сейсмического фона на вариации магнитного поля наблюдается в основном при геомагнитных вариациях импульсного типа. В большинстве случаев непосредственно за сильным геомагнитным возмущением (магнитная буря) или с некоторой задержкой отмечается увеличение среднеквадратичного отклонения амплитуды сейсмического фона от текущих значений. При этом принципиально важную роль в эффекте возникновения отклика сейсмического фона на геомагнитные вариации играет амплитуда магнитного импульса и скорость изменения магнитного поля. Одновременно с этим в работе [Дещеревский, Сидорин, 2016] показано отсутствие связи между фоновыми геомагнитными вариациями и амплитудными вариациями сейсмического фона.

Цель настоящей работы – установление отклика сейсмического фона на импульсные геомагнитные вариации и получение количественной связи между амплитудой геомагнитных импульсов и амплитудой вариаций сейсмического фона.

### Использованные данные и методы обработки

В качестве исходных использовались данные синхронных инструментальных наблюдений за геомагнитными вариациями и сейсмическими колебаниями на среднеширотной Геофизической обсерватории “Михнево” Института динамики геосфер РАН за период 2008–2015 гг. [Адушкин и др., 2016]. Обсерватория с географическими координатами 54.959 °с.ш., 37.766 °в.д. расположена вдали от крупных источников электромагнитных помех в зоне динамического влияния глубинной водонасыщенной тектонической структуры. Эта структура, относящаяся к приокскому участку Нелидово-Рязанской шовной зоны [Адушкин, Спивак, 2012], распространяется в северо-восточном направлении и выходит в окрестности обсерватории.

Следует отметить, что наличие подобной глубинной тектонической структуры в непосредственной близости к месту регистрации может существенно влиять на интенсивность преобразования энергии геомагнитного поля в энергию сейсмических колебаний [Спивак, 2010].

Локальные геомагнитные вариации регистрировались в специально оборудованном магнитном павильоне с помощью трехкомпонентного феррозондового магнитометра *LEMI-018*, электронный блок которого обеспечивает необходимое преобразование данных, получаемых с феррозондового датчика, их обработку и накопление. Передача данных в компьютер и далее на основной сервер ИДГ РАН осуществлялась с помощью интерфейса *RS-232*. Измерялись три компоненты магнитной индукции: две горизонтальные –  $B_x$  (направление север–юг),  $B_y$  (восток–запад), и одна вертикальная  $B_z$  (вертикально вниз).

Сейсмические измерения выполнялись с помощью работающих в режиме велосипедметра сейсмоприемников *СМ-3КВ* и *STRECKEISEN STS-2*, расположенных на постаменте измерительной шахты на глубине ~20 м. Сбор и накопление данных проводились с помощью программируемых регистраторов *QUANTERRA-380* и *REFTEK-130*.

Результаты регистрации геофизических полей размещены в открытом доступе на сайте ИДГ РАН ([idg.chph.ras.ru/~mikhnevo/data/](http://idg.chph.ras.ru/~mikhnevo/data/)).

Предварительно в ходе лабораторных экспериментов было установлено отсутствие наводки на электрические контуры сейсмоприемников при магнитных вариациях амплитудой до 5 мкТл, что более чем на два порядка превышает амплитуду исследуемых геомагнитных вариаций. Лабораторные эксперименты выполнялись с использованием специально изготовленных источников магнитного поля разной амплитуды – катушек

с большим и малым количеством витков и датчика регистрации слабых магнитных полей [Адушкин и др., 2013].

На первом этапе работы с экспериментальными данными цифровые записи приводились при необходимости к эквидистантному виду, а имеющиеся немногочисленные участки с пропусками и “выбросами” корректировались с помощью линейной интерполяции данных. Обработка цифровых рядов магнитных записей заключалась в определении максимума модуля вектора геомагнитных вариаций за вычетом тренда  $B$ . Величина  $B$  принимала значение от  $\sim 10$  до  $\sim 300$  нТл при скорости изменения магнитного поля 20–600 нТл/ч.

В качестве амплитуды наведенных вариаций сейсмического фона  $\nu$  выбирался максимум сглаженных вариаций модуля вектора амплитуды сейсмических колебаний в периоды геомагнитного возмущения<sup>1</sup>. Значения  $\nu$  лежали в диапазоне 0.03–0.3 мкм/с.

Выделение наведенных вариаций микросейсмического фона осуществлялось на основе спектрально-временного анализа (СВАН), заключающегося в оценке текущего спектра части временного ряда, соответствующего скользящему временному окну [Козлов, Крымский, 1993]. Визуализация спектра в виде СВАН диаграмм позволяет хорошо выделять повышенные амплитудные вариации сейсмического фона, вызванные геомагнитными импульсами.

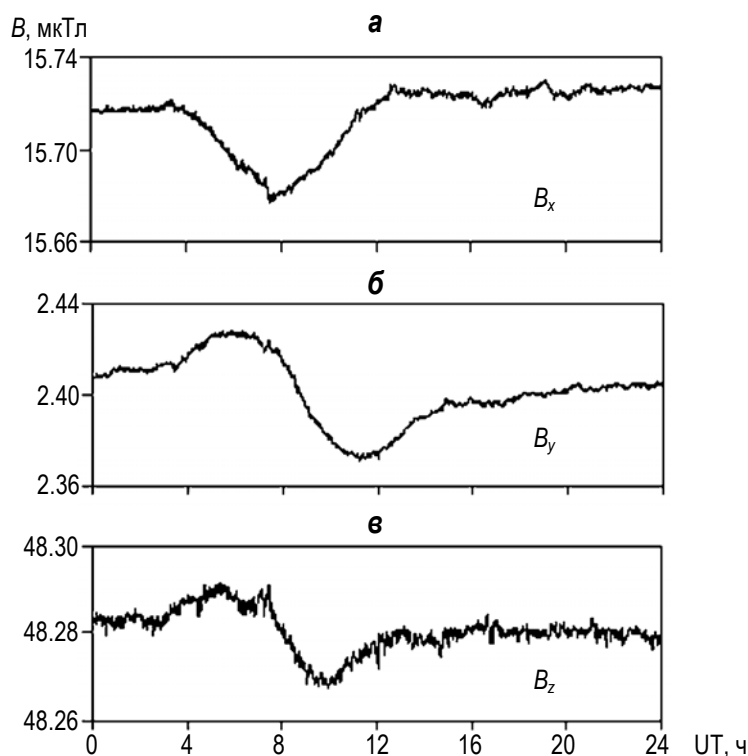
В настоящей работе для оценки тесноты связи между исследуемыми величинами использовались три разных подхода: первый основан на вычислении коэффициента линейной корреляции Пирсона, второй – вычислении коэффициента ранговой корреляции Спирмена, третий – коэффициента ранговой корреляции Кендалла. С целью подтверждения статистической значимости корреляционной зависимости применялся метод анализа с привлечением суррогатных рядов данных, для чего использовалось известное программное обеспечение [Middleton, 2000]. На первом этапе вычислялось Фурье-преобразование рассматриваемых исходных (оригинальных) рядов данных, после чего производилась случайная рандомизация фазовых спектров результатов преобразования и вычислялось обратное Фурье-преобразование вновь полученных рядов. Процедура выполняется многократно с получением набора суррогатных рядов данных.

Полученные таким образом наборы суррогатных рядов анализировались для установления их корреляции с оригинальными рядами данных. Значительное различие коэффициентов корреляции между оригинальными рядами и между суррогатными рядами является свидетельством значимой корреляции между исследуемыми величинами – геомагнитными импульсами и вариациями сейсмического фона. Для установления степени значимости полученных корреляционных соотношений рассчитывался коэффициент детерминации  $R^2$  [Nagelkerke, 1991].

### **Фоновые вариации геомагнитного поля и сейсмического фона на обсерватории “Михнево”**

Предварительно исследовались фоновые характеристики сейсмического фона и геомагнитных вариаций (при отсутствии значимых возмущений и магнитных бурь). Анализ результатов регистрации и обработка данных показали, что амплитудные характеристики и периодичности вариаций сейсмического фона совпадают с установленными ранее в [Спивак, Кишкина, 2004]. Характер суточного хода невозмущенного геомагнитного поля (рис. 1) практически не зависит от времени года и характеризуется

<sup>1</sup> Для определения возможного запаздывания реакции сейсмического фона на геомагнитное возмущение продолжительность записи многократно превышала длительность геомагнитного импульса.



**Рис. 1.** Записи суточного хода двух горизонтальных (*а, б*) и одной вертикальной (*в*) компонент напряженности магнитного поля в отсутствие сильных геомагнитных вариаций. Геофизическая обсерватория “Михнево”, 19.09.2011 г.

небольшим уменьшением магнитной индукции поля в первой половине мировых суток, происходящим в основном за счет *Sq*-вариаций, амплитуда которых не превышает 20–30 нТл при скорости изменения геомагнитного поля от 1 до 3 нТл/ч.

Анализ всего массива геомагнитных данных, полученных на обсерватории “Михнево”, показал, что около 30 % времени наблюдений характеризуется повышенной геомагнитной активностью. При этом регистрируется несколько типов импульсных геомагнитных вариаций, основными из которых могут считаться:

вариации с внезапным началом (*SSC*-события), когда отчетливо регистрируется довольно кратковременный (длительность 20–120 мин) положительный импульс, предшествующий стадии продолжительных вариаций магнитного поля;

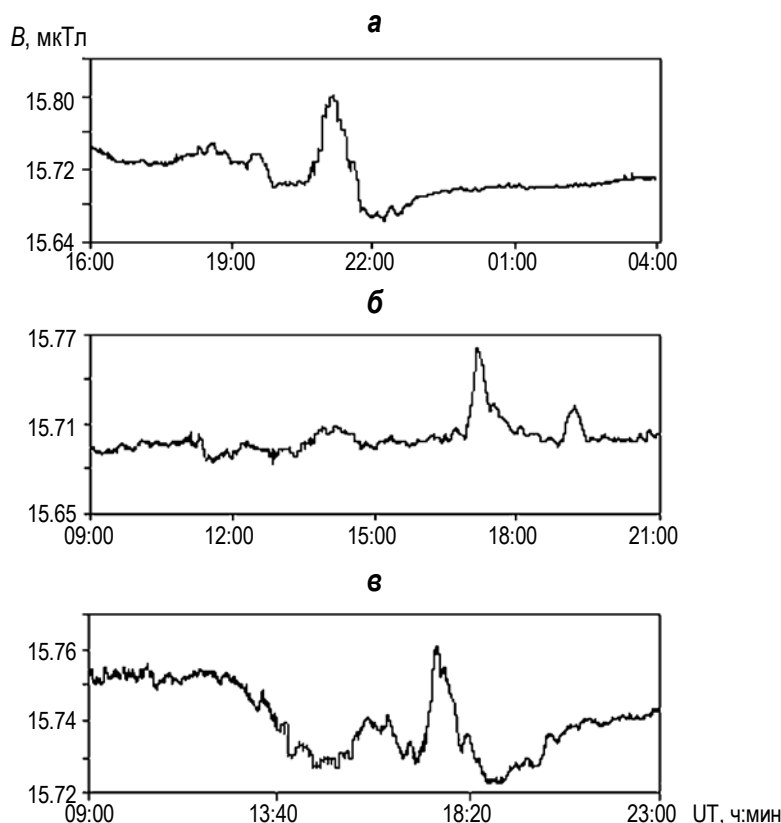
вариации в виде внезапного импульса, когда локальные геомагнитные вариации не развиваются (*SI*-события)<sup>1</sup>;

вариации в виде внезапного импульса на фоне сформировавшихся локальных геомагнитных вариаций (*SMI*-события).

Помимо перечисленных (основных) вариаций наблюдаются и другие их разновидности, среди которых мощные продолжительные вариации со слабым внезапным началом (либо вообще без него); магнитные бури с внезапным началом, предваряемым цугом колебаний; магнитные бури с несколькими одиночными импульсами, подобными внезапному началу; цуги одиночных импульсов без развития магнитной бури.

Авторами рассматриваются вариации сейсмического фона в периоды геомагнитных вариаций трех основных типов, примеры записей которых приведены на рис. 2.

<sup>1</sup> В литературе встречается другое обозначение геомагнитного импульса в виде *MIEs* (*magnetic impulse events*).



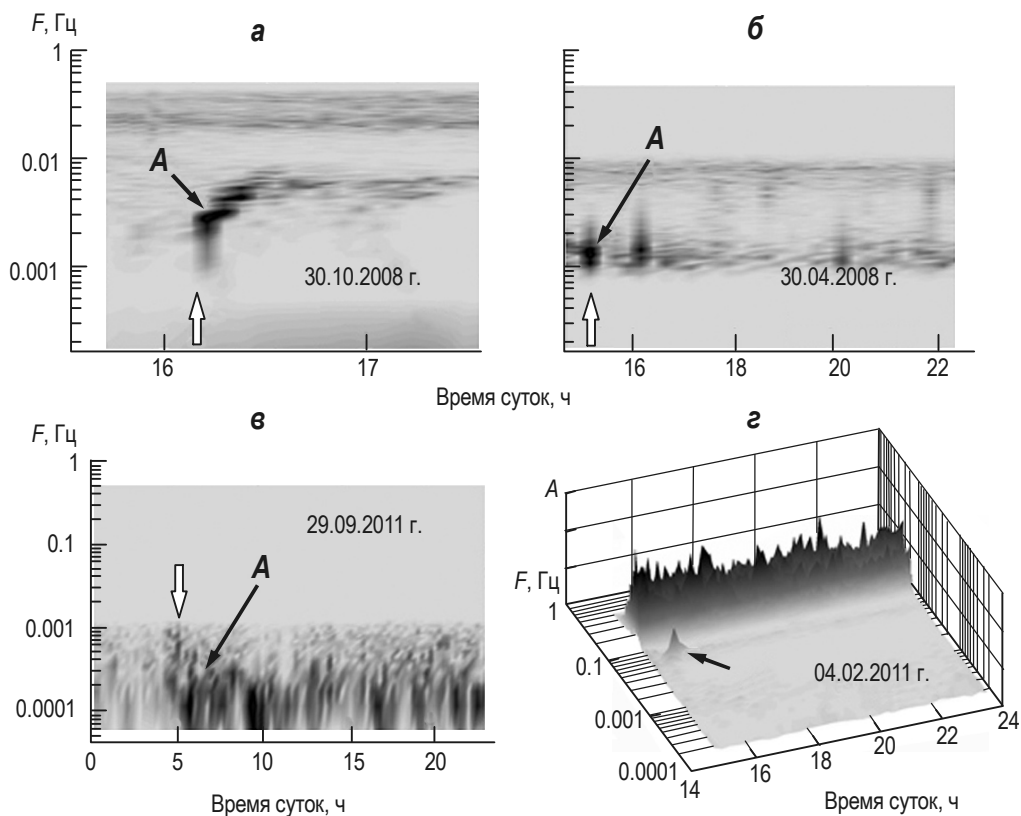
**Рис. 2.** Примеры геомагнитных вариаций трех основных типов, наблюдаемых в периоды магнитных бурь: *a* – *SSC*-событие в период магнитной бури 14–15.02.2011 г. ( $K=5$ ); *б* – *SI*-событие в период магнитной бури 06.02.2011 г. ( $K=4$ ); *в* – *SMI*-событие в период магнитной бури 18.02.2011 г. ( $K=3$ ). Приведены записи горизонтальной компоненты  $B_x$ , мкТл

### Вариации сейсмического фона, вызванные воздействием геомагнитных импульсов

Результаты обработки и анализа данных свидетельствуют, что во время импульсных геомагнитных *SSC*- и *SI*-вариаций в большинстве случаев отмечаются повышенные вариации сейсмического фона. Спектральный анализ показывает, что вызванные вариации сейсмического фона в основном наблюдаются в частотном диапазоне 0.01–0.1 Гц (в отдельных случаях – 0.001–0.1 Гц). При этом необходимо отметить, что названные вариации имеют сложный характер и зависят от конкретного геомагнитного возмущения. На рис. 3 приведены примеры вызванных вариаций сейсмического фона, представленные в виде СВАН диаграммы для временных интервалов, содержащих геомагнитные возмущения, начало которых отмечено вертикальными стрелками без заливки.

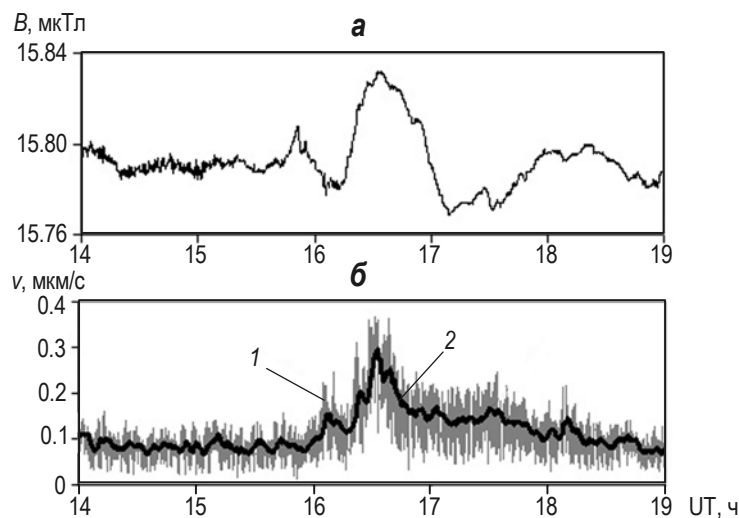
Как можно видеть на рис. 3, наблюдаемые вариации сейсмического фона по времени могут быть как короткими (*SI*-импульсы), так и весьма продолжительными (*SSC*-импульсы, предваряющие сильную магнитную бурю). Их начало совпадает с началом геомагнитных вариаций, а максимум амплитуды, как правило, – с максимумом геомагнитного импульса. Однако в ряде случаев (длительные возмущения геомагнитного поля во время магнитных бурь) отмечается запаздывание максимальной амплитуды отклика вариаций сейсмического фона на геомагнитные возмущения (рис. 3, *в*)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Определение времени запаздывания реакции микросейсмического фона на геомагнитные возмущения требует отдельного рассмотрения.



**Рис. 3.** СВАН диаграммы вариаций сейсмического фона (*A*), зарегистрированных в разные периоды геомагнитных возмущений: *a* – 30.10.2008 г. ( $K=5$ ;  $\Delta B=50$  нТл); *б* – 30.04.2008 г. ( $K=4$ ;  $\Delta B=37$  нТл); *в* – 29.09.2011 г. ( $K=6$ ;  $\Delta B=120$  нТл); *г* – 04.02.2011 г. ( $K=4$ ;  $\Delta B=22$  нТл; изометрическая проекция<sup>1</sup>)

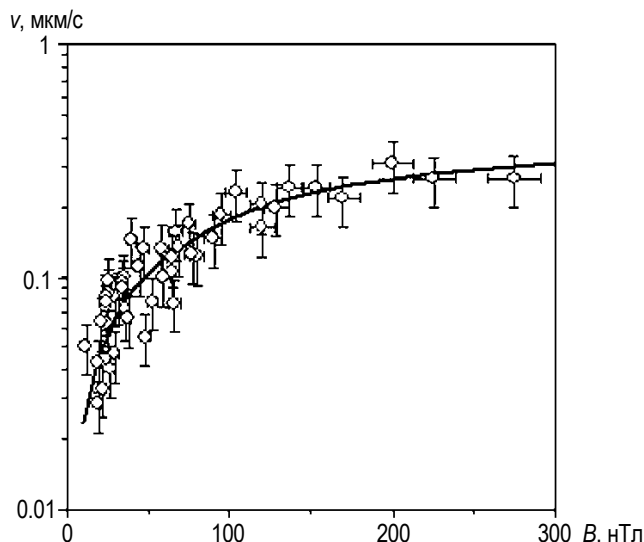
При установлении зависимости между интенсивностью геомагнитных вариаций и откликом сейсмического фона рассматривались события, для которых амплитуды геомагнитных импульсов и вызванных вариаций сейсмического фона (ВВСФ) определялись однозначно. На рис. 4 приведен пример прямого сопоставления вариаций геомагнитного поля и ВВСФ для одного из событий.



**Рис. 4.** Синхронные вариации относительной амплитуды внезапного геомагнитного импульса (*a*) и скорости колебаний в микросейсмическом фоне  $V$  (*б*) в период магнитной бури 30.10.2008 г. ( $K=5$ ). Геофизическая обсерватория “Михнево”  
1 – вариация амплитуды горизонтального вектора скорости колебаний в диапазоне частот 0.01–1 Гц, 2 – результат осреднения в окне 200 с

<sup>1</sup> Изометрическая проекция использована в связи с недостаточной выразительностью вариаций.

Итоговые результаты сопоставления амплитуд геомагнитных вариаций и вызванных вариаций сейсмического фона приведены на рис. 5. Несмотря на значительный разброс, экспериментальные данные в целом демонстрируют увеличение вариаций амплитуды сейсмического фона с увеличением амплитуды геомагнитных импульсов.



**Рис. 5.** Зависимость среднеквадратичной амплитуды вариации сейсмического фона  $v$ , наведенной в период геомагнитных вариаций, от амплитуды горизонтальной составляющей  $B$ . Горизонтальные и вертикальные отрезки характеризуют неопределенность измеренных величин; кружки – единичные измерения, сплошная кривая – их осредняющая

Аналитически полученная зависимость  $v(B)$  с достаточной для практических оценок точностью аппроксимируется зависимостью, в которой  $B$  выражено в нТл:

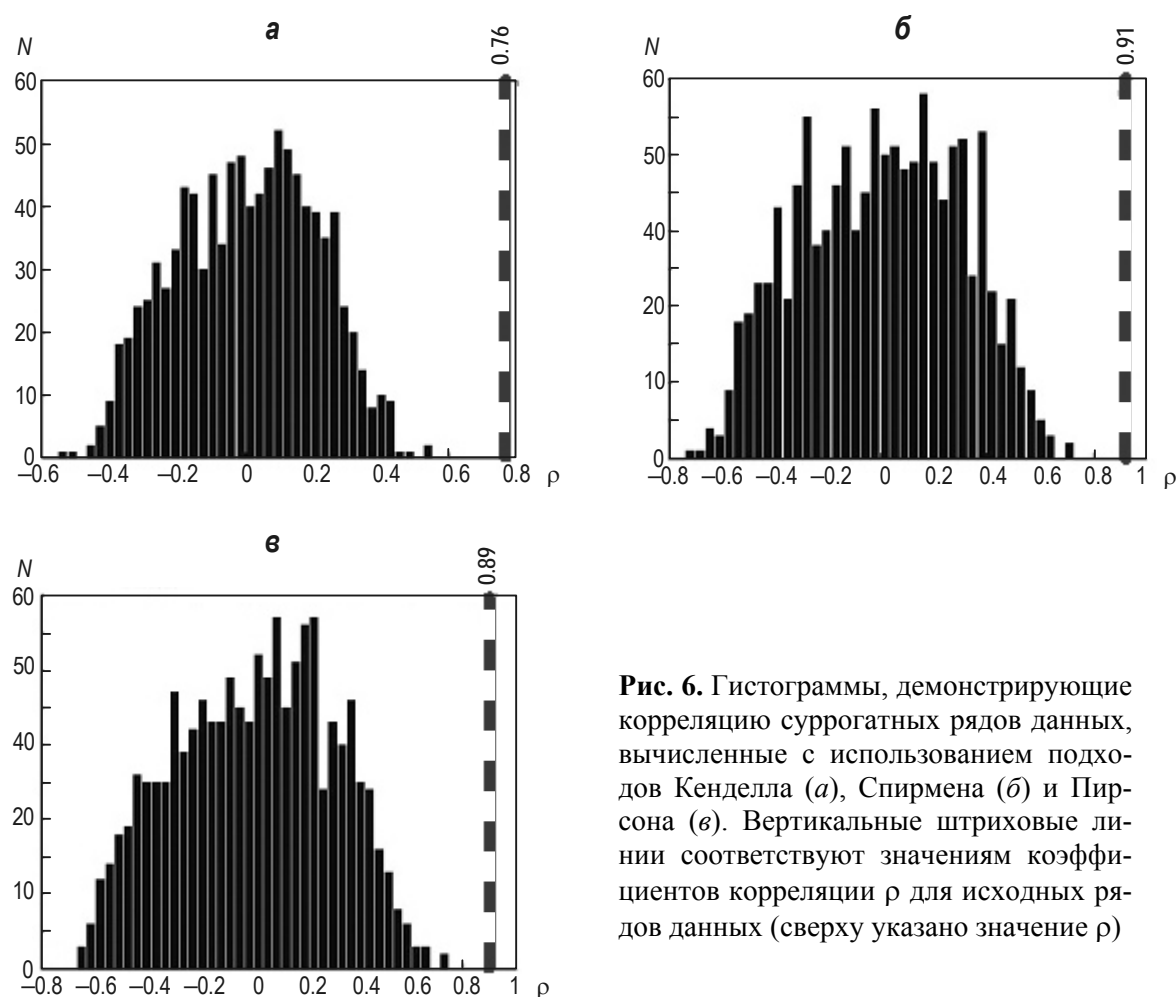
$$v = 0.35 \left\{ 1 - e^{-0.007B} \right\} \text{ мкм/с.} \quad (1)$$

Статистический анализ данных указывает на значимую корреляцию между анализируемыми параметрами  $v$  и  $B$  (коэффициент ранговой корреляции Спирмена составляет 0.91 при статистической значимости  $\leq 0.01$ ).

Подтверждение и проверка достоверности статистической значимости соотношения (1) между амплитудами  $v$  и  $B$  выполнялись на основе метода суррогатных рядов данных.

В настоящей работе при анализе корреляционных соотношений использовались подходы Кенделла, Спирмена и Пирсона. Результаты вычисления коэффициентов корреляции по 1000 реализаций приведены на рис. 6 в виде гистограмм.

В нашем случае коэффициенты корреляции исходных рядов не попадают в интервал значений, соответствующих построенным случайным гистограммам, что свидетельствует о взаимной связи рассматриваемых событий. При этом значения коэффициентов детерминации  $R^2$  являются относительно высокими: по Кендаллу – 58 %, Пирсону – 80 %, Спирмену – 82.3 %, позволяя утверждать, что рассматриваемые процессы характеризуются значимой корреляцией между амплитудой геомагнитного импульса и максимальным значением вариаций среднеквадратической скорости колебаний в микросейсмическом фоне. Это является основой для поиска возможных механизмов передачи энергии между магнитным полем и полем микросейсмических колебаний.



**Рис. 6.** Гистограммы, демонстрирующие корреляцию суррогатных рядов данных, вычисленные с использованием подходов Кенделла (*а*), Спирмена (*б*) и Пирсона (*в*). Вертикальные штриховые линии соответствуют значениям коэффициентов корреляции  $\rho$  для исходных рядов данных (сверху указано значение  $\rho$ )

### Обсуждение результатов

Возможность преобразования энергии геомагнитных импульсов в механическую энергию колебаний земной коры определяется известными механизмами, основными среди которых принято считать следующие:

изменение величины и конфигурации теллурических токов вследствие формирования в проводящем земном веществе токов изображения;

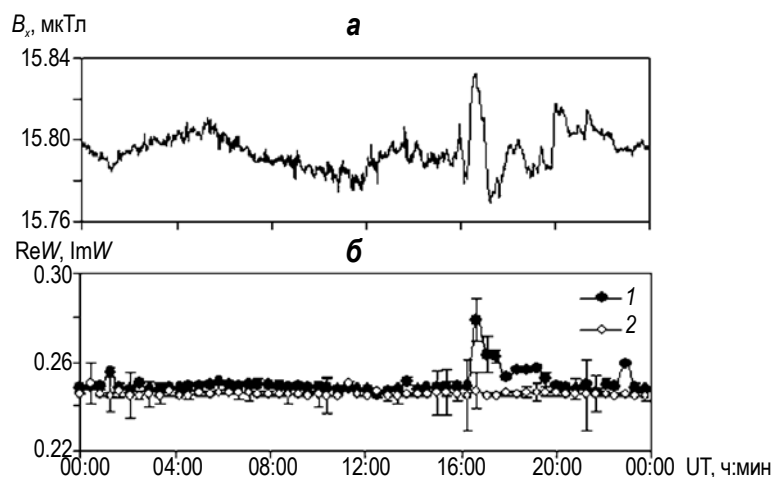
магнитострикционный эффект;

обратный пьезоэффект;

действие пондеромоторных сил.

Для условий обсерватории “Михнево” можно предполагать, что наиболее вероятным механизмом преобразования энергии между геомагнитными импульсами и сейсмическими фоновыми колебаниями являются наведенные электрические токи, которые концентрируются в обводненных, а, следовательно, хорошо проводящих зонах Нелидово-Рязанской структуры [Лосева, Кузьмичева, Спивак, 2012]. В связи с этим представляет интерес анализ вещественных и мнимых частей магнитного типпера, которые отражают изменение электропроводности земной коры. Оценка магнитного типпера в настоящей работе выполнялась на основе предложенного Ларсеном подхода [Larsen, 1989], который позволяет выделять из вариаций геомагнитного поля составляющую магнитотеллурического происхождения. Результаты оценки вещественной ( $ReW$ ) и мнимой ( $ImW$ ) частей магнитного типпера приведены на рис. 7, б.





**Рис. 7.** Пример геомагнитных вариаций (а) и рассчитанных абсолютных значений вещественной (1) и мнимой (2) частей магнитного типпера (б). Вертикальные отрезки – достоверные интервалы. Геофизическая обсерватория “Михнево”, 30.10.2008 г.

На рис. 7, б можно видеть, что после геомагнитного импульса в поведении модуля магнитного типпера отмечаются “скачкообразные” изменения. Это свидетельствует о том, что при резком магнитном импульсе с небольшой задержкой по времени происходит изменение величины наведенных электрических токов.

Вследствие значительного разброса результатов регистрации и применения к ним при обработке процедуры сглаживания полученную зависимость  $\nu(B)$  следует рассматривать скорее как качественную. Вместе с тем характер зависимости (1) позволяет сделать следующий важный вывод – возможности среды в преобразовании энергии геомагнитных вариаций в энергию микроколебаний не безграничны. Если при достаточно слабых амплитудах геомагнитных импульсов  $B$  (в диапазоне до  $\sim 50$ – $100$  нТл) амплитуда наведенных вариаций сейсмического поля с ростом  $B$  увеличивается практически линейно, то при дальнейшем усилении  $B$  зависимость  $\nu(B)$  выполаживается. Это и является свидетельством ограниченных возможностей среды в формировании механического отклика на геомагнитные возмущения: наступает насыщение. Наведенные в среде электрические токи приближаются к максимуму, который определяется количеством проводящего флюида и его конкретными электрохимическими свойствами.

### Заключение

Полученные в настоящей работе данные демонстрируют преобразование энергии геомагнитных вариаций на земной поверхности в энергию сейсмических колебаний в конкретных условиях геофизической обсерватории “Михнево”. Можно предполагать, что наличие глубинной тектонической структуры в окрестности обсерватории – обводненного приокского участка Нелидово-Рязанской шовной зоны – существенно усиливает отмеченный эффект. Однако это не исключает того, что подобные эффекты возможны и на других участках земной коры.

Установленная авторами корреляция между геомагнитными вариациями импульсного типа и вариациями амплитуды сейсмического фона позволяет в данном случае лишь предполагать их причинно-следственную связь. Для подтверждения этой связи и установления конкретных механизмов преобразования энергии между геомагнитным и сейсмическим полями необходимо проведение дальнейших, более детальных исследований, основой для которых могут стать данные, полученные в настоящей работе.

## Благодарности

Исследования выполнены при поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН IV.8 (проект 0146-2015-0011 “Взаимодействие и преобразование геофизических полей на границе земная кора–атмосфера”).

## Литература

- Адушкин В.В., Овчинников В.М., Санина И.А., Ризниченко О.Ю.* “Михнево”: от сейсмостанции № 1 до современной геофизической обсерватории // *Физика Земли*. 2016. № 1. С.108–119.
- Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А., Харламов В.А.* О возможном влиянии геомагнитных вариаций на сейсмический фон // *Триггерные эффекты в геосистемах*. М.: ГЕОС, 2013. С.208–219.
- Адушкин В.В., Спивак А.А.* Приповерхностная геофизика: комплексные исследования литосферно-атмосферных взаимодействий в окружающей среде // *Физика Земли*. 2012. № 3. С.3–21.
- Барсуков О.М.* Солнечные вспышки, внезапные начала и землетрясения // *Физика Земли*. 1991. № 12. С.93–97.
- Децеровский А.В., Сидорин А.Я.* Сравнительный морфологический анализ суточных ритмов геомагнитной активности и сейсмичности // *Геофизические процессы и биосфера*. 2016. Т. 15, № 2. С.55–68.
- Закржевская Н.А., Соболев Г.Н.* О возможном влиянии магнитных бурь на сейсмичность // *Физика Земли*. 2002. № 4. С.3–15.
- Козлов В.И., Крымский П.Ф.* Физические основания прогноза катастрофических геофизических явлений. Якутск: Якут. науч. центр, 1993. 163 с.
- Лосева Т.В., Кузьмичева М.Ю., Спивак А.А.* Численно-феноменологическая модель взаимосвязи магнитного поля и микроколебания земной коры в зоне влияния крупной тектонической структуры // *Динамические процессы в геосферах*. М.: ГЕОС, 2012. Вып. 3. С.84–91.
- 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.* Особенности геофизических полей в разломных зонах // *Физика Земли*. 2010. № 4. С.55–66.
- 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.
- 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.
- Larsen J.C.* Transfer functions: smooth robust estimates by least-squares and remote reference methods // *Geophys. J.* 1989. V. 99. P.645–663.
- Middleton G.V.* Data analysis in the Earth sciences using MatLab. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River, 2000. 246 p.
- Nagelkerke N.J.D.* A Note on a general definition of the coefficient of determination // *Biometrika*. 1991. V. 78, N 3. P.691–692.
- Simpson I.F.* Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1968. V. 3, N 5. P.417–425.
- Yesugey S.C.* Comparative evaluation of the influencing effects of geomagnetic storms on earthquakes in the Anatolian Peninsula // *Earth Sci. Res. J.* 2009. V. 13, N 1. P.82–89.

## Сведения об авторах

**РЯБОВА Светлана Александровна** – аспирант, Институт динамики геосфер РАН. 119034, Москва, Ленинский просп., д. 38, корп. 1. Тел.: +7(985) 132-06-84. E-mail: riabovasa@mail.ru

**СПИВАК Александр Александрович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, Институт динамики геосфер РАН. 119034, Москва, Ленинский просп., д. 38, корп. 1. Тел.: +7(916) 847-41-99. E-mail: spivak@idg.chph.ras.ru

## SEISMIC BACKGROUND DISTURBANCE DUE TO GEOMAGNETIC IMPULSES

S.A. Riabova, A.A. Spivak

*Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

**Abstract.** The results of analysis of synchronous instrumental observations of the variations in the geomagnetic field on the Earth's surface and the seismic background, carried out at the Geophysical Observatory “Mikhnevo” of the Institute of Geosphere Dynamics, Russian Academy of Science, in 2008–2015 are presented. It is shown that the geomagnetic impulses (SI-signals) and sudden commencement of magnetic storms (SSC-signals) can cause increased background seismic oscillations in the frequency range of 0.01–0.1 Hz. The relationship between the amplitude of the impulse-type geomagnetic variations and amplitude of the caused variations of background seismic oscillations has established.

**Keywords:** geomagnetic variations, impulses, seismic oscillations, fault zone, energy transformation.

### References

- Adushkin V.V., Ovchinnikov V.M., Sanina I.A., and Riznichenko O. Yu. Mikhnevo: from seismic station N 1 to a modern geophysical observatory. *Izv. Phys. Solid Earth*, 2016, vol. 52, no. 1, pp. 105-116.
- Adushkin V.V., Riabova S.A., Spivak A.A., and Kharlamov V.A., The possible influence of geomagnetic variations on seismic background, *Triggernye efekty v geosistemakh* (Triggering effects in the geosystems), Moscow: GEOS, 2013, pp. 208-219.
- Adushkin V.V. and Spivak A.A. Near-surface geophysics: complex investigations of the lithosphere-atmosphere interactions. *Izv. Phys. Solid Earth*, 2012, vol. 48, no. 3, pp. 181-198.
- Barsukov O.M., Solar flares, sudden commencements, and earthquakes, *Izv. Phys. Solid Earth*, 1991, vol. 27, pp. 1081-1083.
- Desherevskii A.V. and Sidorin A.Ya. Comparative morphological analysis of the diurnal rhythms in geomagnetic and seismic activity. *Isvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2016, vol. 52, no. 8, pp. 853-861.
- Kozlov V.I. and Krymsky P.F., *Fizicheskie osnovaniya prognoza katastroficheskikh geofizicheskikh yavlenii* (Physical backgrounds of predicting catastrophic geophysical phenomena), Yakutsk: YaNTs SO RAN, 1993.
- Larsen J.C. Transfer functions: smooth robust estimates by least-squares and remote reference methods, *Geophys. J.*, 1989, vol. 99, pp. 645-663.
- Loseva T.V., Kuz'micheva M.Y., and Spivak A.A. Numerical and phenomenological model of relationship of the magnetic field and microoscillations of the Earth's crust in the influence zone of large-scale tectonic structure, *Dinamicheskie protsessy v geosferakh* (Dynamic processes in the geospheres), vol. 3, Moscow: GEOS, 2012, pp. 84-91.
- Middleton G.V. *Data analysis in the Earth sciences using MatLab*. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River, 2000.
- Nagelkerke N.J.D. A Note on a general definition of the coefficient of determination. *Biometrika*, 1991, vol. 78, no. 3, pp. 691-692.
- Popova O.G., Zhigalin A.D., and Konovalov Yu.F., Connection of Earth crust stress variation to the full solar eclipses and the propagation of magnetic storms, *Geoecologiya* (Geoecology), 2011, no. 3, pp. 55-71.

- Simpson I.F., Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes, *Earth and Planet. Sci. Letter*, 1968, vol. 3, no. 5, pp. 417-425.
- Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A., and Kharin E.P. On the relation between seismicity and magnetic storms. *Izv. Phys. Solid Earth*, 2011, vol. 37, no. 11, pp. 917-927.
- Spivak A.A. The specific feature of geophysical fields in the fault zones, *Izv. Phys. Solid Earth*, 2010, vol. 46, no. 4, pp. 327-338.
- Spivak A.A. and Kishkina S.B. The use of microseismic background for the identification of active geotectonic structures and determination of geodynamic characteristics, *Izv. Phys. Solid Earth*, 2004, vol. 40, no. 7, pp. 573-586.
- Sycheva N.A., Bogomolov L.M., and Sychev V.N., On geoeffective solar flares and variations of the seismic noise level, *Izv. Phys. Solid Earth*, 2011, vol. 47, no. 3, pp. 207-222.
- Sytinskiy A.D., Connection of earthquakes with solar activity, *Izv. Phys. Solid Earth*, 1989, vol. 25, pp. 86-98.
- Yesugey S.C. Comparative evaluation of the influencing effects of geomagnetic storms on earthquakes in the Anatolian Peninsula, *Earth Sci. Res. J.*, 2009, vol. 13, no.1, pp. 82-89.
- Zakrzhevskaya N.A. and Sobolev G.A., On possible effect of magnetic storms on seismicity, *Izv. Phys. Solid Earth*, 2002, vol. 38, no. 4, pp. 249-261.