

УДК 550.385.37+550.388

**О МАГНИТНЫХ ЭФФЕКТАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 16.03.2022 г. В ЯПОНИИ**© 2023 г. Н. С. Носикова<sup>1</sup>, В. А. Пилипенко<sup>1</sup>, С. Л. Шалимов<sup>1, \*</sup><sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

\*E-mail: pmsk7@mail.ru

Поступила в редакцию 29.03.2023 г.

После доработки 14.04.2023 г.

Принята к публикации 21.04.2023 г.

В работе [Адушкин и др., 2023] рассмотрены магнитные эффекты двух близких подводных землетрясений магнитудой 6.0 и 7.3, произошедших 16.03.2022 г., где по данным магнитных обсерваторий сети INTERMAGNET было обнаружено, что землетрясения сопровождались (с задержкой по времени ~55 мин) вариациями магнитного поля Земли в виде цуга квазипериодических колебаний с амплитудой ~2–8 нТл и периодом ~30 мин на расстояниях от ~210 до ~3000 км от эпицентра. В указанной работе высказано предположение, что этот магнитный эффект вызван возмущением геодинамо в результате воздействия сейсмических волн, распространяющихся вглубь Земли. Эта интересная гипотеза требует детального обсуждения с различных точек зрения. Проведенный нами более детальный анализ картины возмущения геомагнитного поля на всех широтах приводит к выводу, что обнаруженное квазипериодическое возмущение является среднеширотным откликом на вариации электроджета в авроральной области и не связано с землетрясением. По нашим оценкам вариации с источником на границе ядра и мантии с временным масштабом менее 1 года не могут проявиться на поверхности Земли.

*Ключевые слова:* землетрясение, ионосфера, магнитное поле, геодинамо.

**DOI:** 10.31857/S0002333723050071, **EDN:** VZPTZG

**ВВЕДЕНИЕ**

Сильным землетрясениям сопутствуют изменения напряженно-деформированного состояния среды и ее электрофизических свойств, изменения режима подземных вод, увеличение эксхалляции радона и т.д. Особый интерес вызывает сейсмомагнитный эффект, при котором вариации магнитного поля Земли разных частотных диапазонов наблюдаются как в период прихода сейсмической волны, так и спустя десяток мин после основного толчка [Surkov, Pilipenko, 1997]. Предполагается, что наиболее вероятным механизмом этого эффекта является возбуждение ионосферы в эпицентральной области при воздействии на нее акустико-гравитационными волнами, возникающими в результате движений земной коры [Адушкин и др., 2021; Куницын, Шалимов, 2011].

В работе [Адушкин и др., 2023] рассмотрен магнитный эффект уникального сейсмического события 16.03.2022 г.: двух следующих друг за другом с интервалом ~2 мин подводных землетрясений, расстояние между центрами очагов которых 11 км. Авторы предположили, что сейсмические волны, вызванные сильными, практически одновременно произошедшими землетрясениями, распространяясь вглубь Земли, оказали влияние

на турбулентные движения в жидком ядре Земли и создали возмущение геодинамо. Однако авторы отметили, что они отдают себе отчет в том, что высказанное предположение о возможном источнике магнитных вариаций в виде возмущения геодинамо сейсмическими волнами при сильном землетрясении является несомненно дискуссионным и представляет предмет для дальнейших исследований. Если эта гипотеза подтвердится, она откроет новое направление в изучении физики сейсмомагнитных эффектов. Нам также представляется, что высказанная интересная гипотеза требует детального рассмотрения с различных точек зрения. В принципе, работы по выделению сейсмомагнитных эффектов должны вестись в тесной координации сейсмологов, магнитологов, и специалистов по космической погоде, что позволит избежать ложной интерпретации “аномальных” возмущений во время сейсмических событий [Костерин и др., 2015]. В данной заметке мы критически проанализировали представленные в работе [Адушкин и др., 2023] результаты. Проведенный нами анализ геомагнитных данных привел к иному выводу.

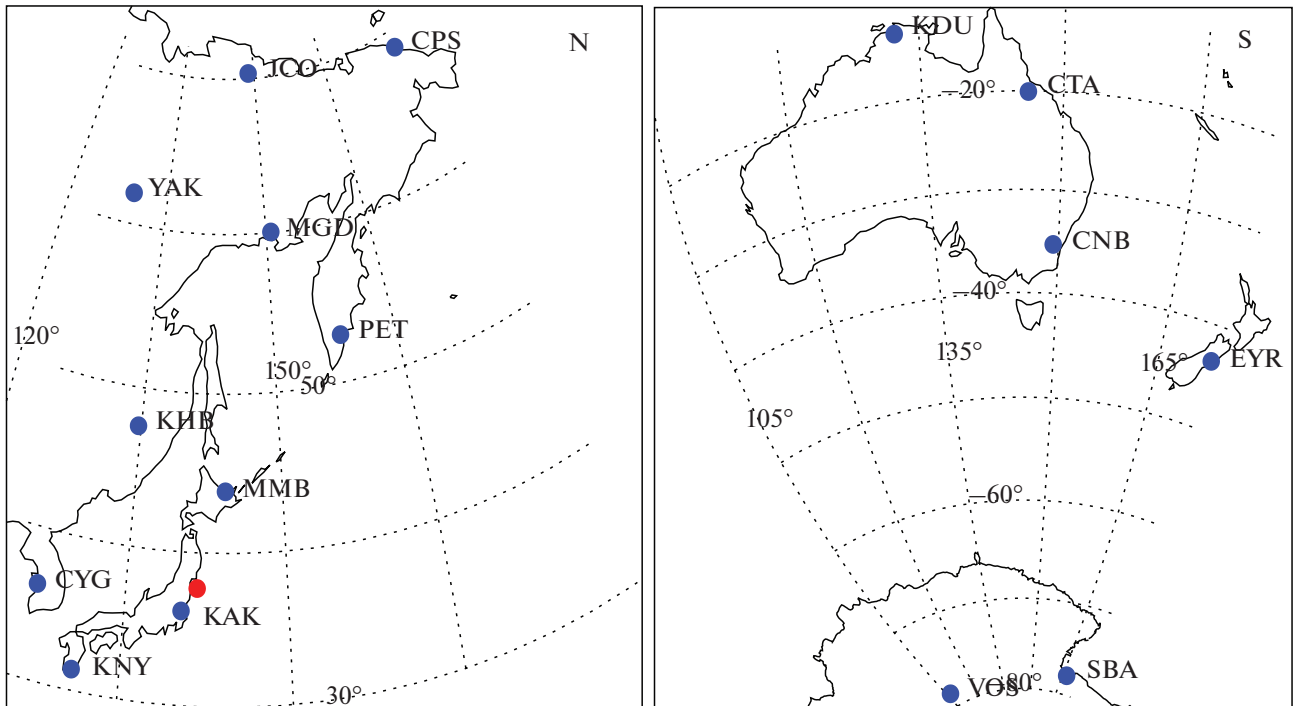


Рис. 1. Схема расположения меридиональных станций сети ИНТЕРМАГНЕТ для северного (слева) и южного (справа) полушарий. Красной точкой указаны эпицентры землетрясений.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

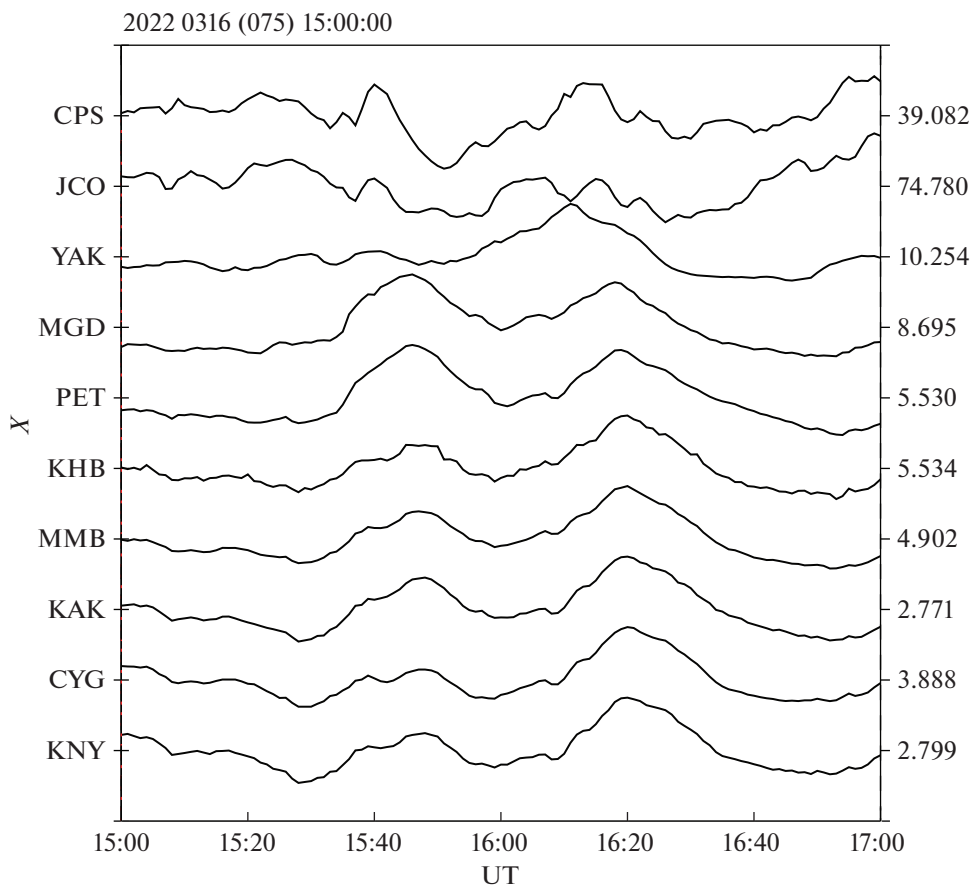
В качестве исходных данных использовались результаты наблюдений на обсерваториях сети INTERMAGNET с дискретностью 1 мин в районе Дальнего Востока. Они были дополнены станциями из базы данных Российских геомагнитных арктических наблюдений [Козырева и др., 2022] (см. карту с положением станций на рис. 1). Землетрясения произошли 16.03.2023 г. в 14:34:27 и 14:36:33 UT с магнитудами 6.0 и 7.3, глубиной 57 и 59 км. Географические координаты эпицентров  $37.647^\circ \text{ N}$ ,  $141.674^\circ \text{ E}$ , и  $37.730^\circ \text{ N}$ ,  $141.595^\circ \text{ E}$  (отмечено красной точкой на рис. 1).

## АНАЛИЗ МАГНИТОГРАММ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 16.03.2022 г.

День 16.03.2022 г. характеризовался спокойной магнитной обстановкой ( $K_p \sim 2$ ). Вариации магнитного поля после землетрясения представлены на рис. 2. Видно, что в  $\sim 15:30$  UT через 55 мин после землетрясения возникли знакопеременные вариации горизонтальной компоненты магнитного поля  $B_x(t)$  с амплитудой  $\sim 3$  нТл и периодом  $\sim 32$  мин. Аналогичные по форме геомагнитные вариации зарегистрированы всеми другими магнитными обсерваториями, расположенными в меридиональном направлении. Авторы работы [Адушкин и др., 2023] предположили, что эти квазипериодические вариации являются от-

кликом на землетрясения, причем о подобной реакции геомагнитного поля на сейсмический процесс ранее в литературе не сообщалось.

Мы проанализируем данные с несколько иной точки зрения. На рис. 2 магнитограммы станций северного полушария даны по мере убывания широты от JCO (геомагнитная широта  $\Phi = 65.6^\circ$ ) до KAK ( $\Phi = 29.6^\circ$ ). Географические координаты станций приведены в работе [Адушкин и др., 2023]. Обращает на себя внимание, что вариации на высокоширотной станции JCO на арктическом побережье значительно интенсивнее (более чем на порядок), чем на среднеширотных станциях. К тому же колебания на JCO почти противофазны колебаниям на средних широтах. Такую пространственную структуру колебания трудно объяснить откликом на глубинный крупномасштабный источник. В то же время, такая меридиональная структура возмущений вполне естественна с точки зрения современных представлений о магнитосферно-ионосферных токовых системах. Во время рассматриваемого события на авроральных широтах происходит квазипериодическая активизация западного электроджета — возникают две отрицательные микробухты с амплитудой  $\sim 20$  нТл. Токи растекания от аврорального электроджета на средних широтах создают более слабые положительные бухты ( $\sim 2$  нТл). Такая структура геомагнитных возмущений типична, особенность данного события только в том,



**Рис. 2.** Магнитограммы геомагнитных вариаций ( $X$ -компонента) в обсерваториях INTERMAGNET северного полушария, расположенных в меридиональном направлении 16.03.2022 г. (день 075) 15:00–17:00 UT. Цифры у правой оси ординат показывают размах колебаний на каждой станции.

что авроральное возмущение имело квазипериодический характер.

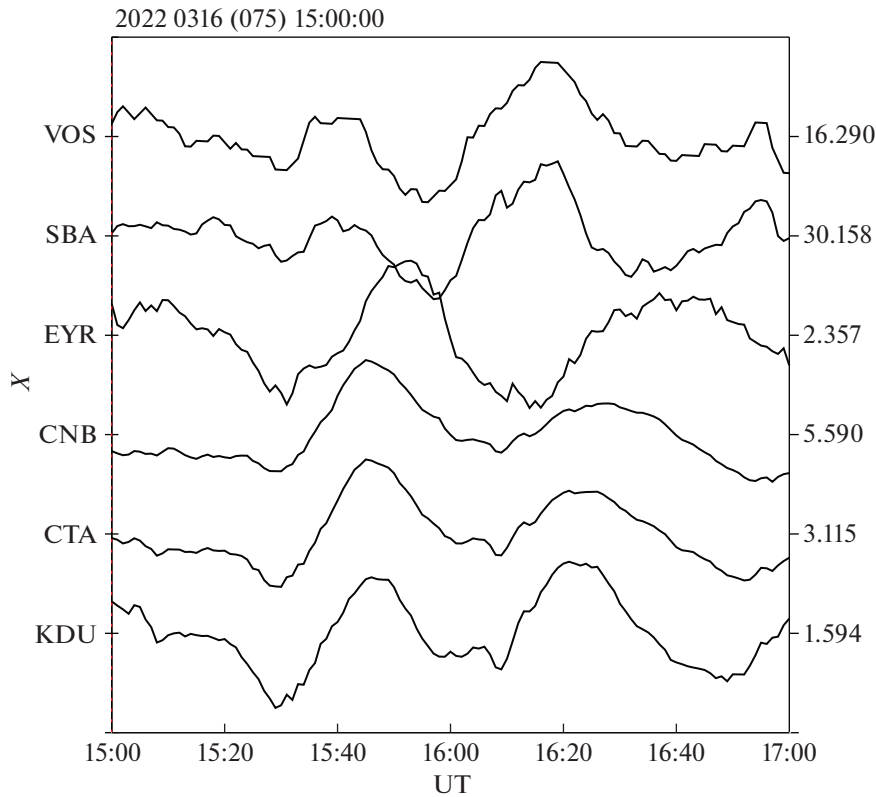
Такой же профиль станций для Южного полушария представлен на рис. 3. Магнитограммы станции даны от высоких широт к низким. На высокоширотных станциях VOS и SBA также проявляется квазипериодическая последовательность отрицательных магнитных бухт. На среднеширотных станциях видны противофазные положительные бухты, вызванные токами растекания от аврорального электроджета.

Причину анализируемого возмущения можно понять из сопоставления наземных геомагнитных вариаций с вариациями межпланетных параметров из базы данных OMNI (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov>) за тот же период. На рис. 4 показаны вариации скорости солнечного ветра  $V$ , плотности плазмы  $N$ , и вертикальной компоненты межпланетного магнитного поля (ММП)  $B_z$ . Планетарную геомагнитную активность на авроральных широтах характеризует SME индекс из портала SuperMAG (<https://supermag.jhuapl.edu>). Сопоставление данных OMNI, геомагнитного

индекса, и наземных магнитограмм показывает природу квазипериодической вариации аврорального электроджета – она вызвана вариациями компоненты  $B_z$  ММП, которая определяет поступление энергии потока солнечного ветра в магнитосферу.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В рассматриваемом случае двойного землетрясения высокая синхронность магнитных возмущений после главных ударов в широком диапазоне расстояний, по мнению авторов работы [Адушкин и др., 2023], свидетельствует о наличии глобального источника, которым может стать геодинамо, возмущенное сейсмическими волнами. Представленный нами анализ данных наглядно свидетельствует, что наблюдаемая пространственная картина геомагнитного возмущения типична для среднеширотного отклика на активизацию аврорального электроджета. Все эти явления к землетрясению никакого отношения не имеют.

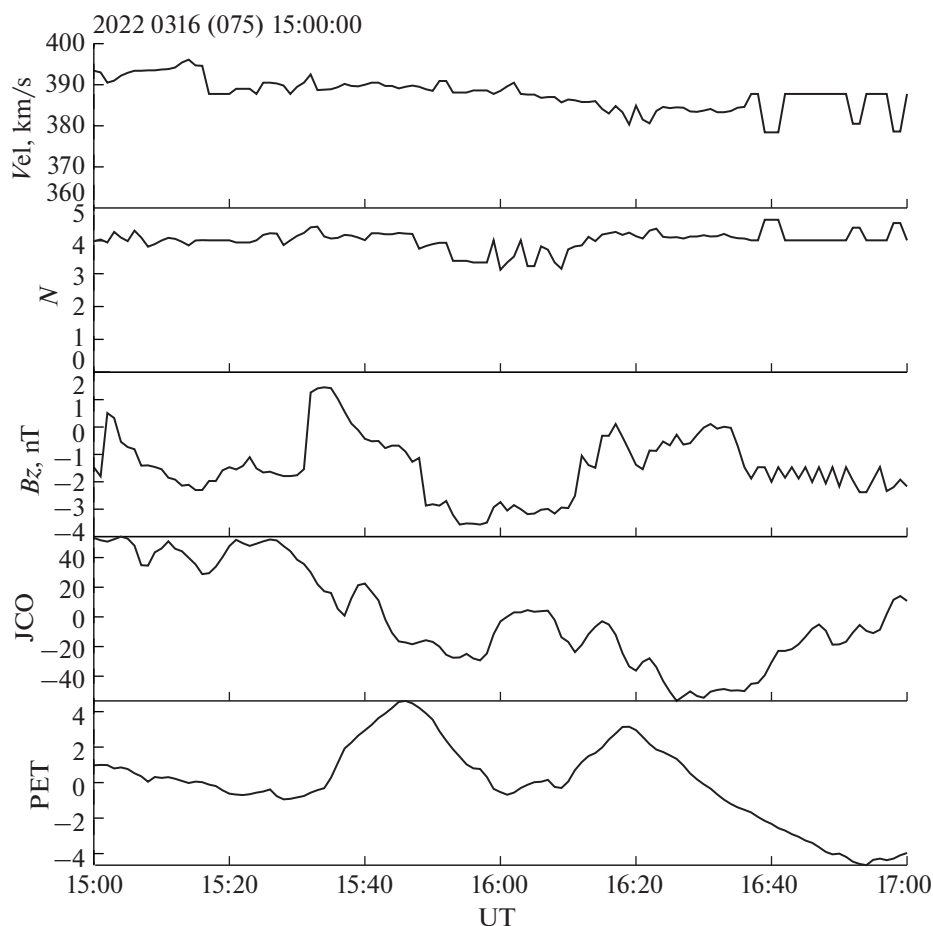


**Рис. 3.** Геомагнитные вариации в обсерваториях INTERMAGNET, расположенных в южном полушарии 16.03.2022 г. Цифры у правой оси ординат показывают размах колебаний.

Для интерпретации зарегистрированных возмущений геомагнитного поля предполагалась [Адушкин и др., 2023] возможность возмущения геодинамо в результате распространения вглубь Земли сейсмических волн от произошедших землетрясений. Действительно, казалось бы, возмущение гидромагнитных течений продольными сейсмическими волнами, распространяющимися в жидком ядре, может приводить к соответствующим возмущениям магнитного поля, которые проявляются затем глобально на земной поверхности. Известно, однако, что переменные поля на земной поверхности отличаются от полей на поверхности жидкого ядра (т.е. на границе ядра и мантии) по причине геометрического ослабления и экранирования индукционных токов в мантии. Отвлекаясь от эффекта геометрического ослабления поля, оценим экранирование поля мантией, принимая во внимание, что электропроводность верхней мантии на много порядков меньше, чем нижней. Экранирование внутренних полей определяется величиной электропроводности и ее зависимостью в нижней мантии от радиуса. Оценки электропроводности мантии [Velimsky, Knorr, 2021] показывают, что от глубины 600 км до ядра она возрастает на два порядка. Иными словами,

высокая электропроводность  $\sigma$  эффективно сосредоточена около границы мантии с ядром и имеет характерный масштаб  $L$ . Для оценок примем  $\sigma = 10 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$  и  $L = 10^3 \text{ км}$ . Тогда, используя для определения характерного периода вариаций формулу  $T = \sigma(2\pi L/c)^2$ , где  $c$  – скорость света, получим  $T \approx 1.3$  года. Таким образом, мантию можно рассматривать как низкочастотный фильтр: более длиннопериодные вариации экранируются слабее. Однако более быстрые процессы с источником на границе ядра и мантии не могут появиться на поверхности Земли.

Интересно отметить, что эти оценки периода магнитных вариаций соответствуют такому хорошо известному геомагнитному явлению, наблюдаемому на поверхности Земли, как геомагнитные джерки. Проявление их на записях магнитных станций связывают с изменением в скорости вековых вариаций (скачок второй производной) компонент магнитного поля Земли [Адушкин и др., 2021]. При этом джерки могут, но не всегда, наблюдаться практически глобально и одновременно, а их появление в измерениях на поверхности Земли традиционно связывают со слабо изученными короткопериодными процессами в



**Рис. 4.** Вариации межпланетных параметров  $V$ ,  $N$ ,  $Bz$ , геомагнитного SME индекса, и магнитограммы ( $X$ -компонента) станций JCO, PET.

жидком ядре. Ключевыми вопросами в исследованиях джерков всегда были и остаются механизмы их генерации и наблюдаемая на поверхности Земли продолжительность. Не рассматривая сейчас механизм их генерации, отметим, что джерки — самые быстрые процессы в геомагнитном поле, наблюдаемые на земной поверхности, из имеющих своим источником нестабильность гидромагнитных течений на границе ядра и мантии. Отметим, что минимальное время нестабильности течений в жидком ядре Земли также порядка одного года (это ограничение следует из эмпирической зависимости геомагнитного поля от доступного конвективного теплового потока [Шалимов, 2014]). Близость характерного времени продолжительности джерков и нестабильности гидромагнитных течений в жидком ядре, по-видимому, не случайна. Так или иначе, но наблюдаемые на земной поверхности вариации геомагнитного поля с периодами  $\sim 30$  мин, о которых идет речь в работе [Адушкин и др., 2023] не могут иметь ту же природу, что джерки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе [Адушкин и др., 2023] была предложена интересная гипотеза, которая безусловно требует детального обсуждения с различных точек зрения. Поэтому мы проанализировали картину возмущения геомагнитного поля на всех широтах в секторе вблизи эпицентра землетрясения. Мы пришли к выводу, что обнаруженное квазипериодическое возмущение является среднеширотным откликом на вариации электроджета в авроральной области и не связано с землетрясением.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А. Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов. М.: ГЕОС. 2021. 264 с.
- Адушкин В.В., Спивак А.А., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Тихонова А.В. Магнитные эффекты двойного землетрясения 16.03.2022 г. (Япония). Результаты наблюдений // Физика Земли. 2023. № 5. С. 00–00.
- Козырева О.В., Пилипенко В.А., Добровольский М.Н., Зайцев А.Н., Маршалко Е.Е. База данных геомагнит-

ных наблюдений в российской Арктике и ее использование для оценки воздействий космической погоды на технологические системы // Солнечно-земная физика. 2022. Т. 8. № 1. С. 39–50.

<https://doi.org/10.12737/szf-74202102>

Костерин Н.А., Пилипенко В.А., Дмитриев Э.М. О глобальных УНЧ электромагнитных сигналах перед землетрясениями // Геофизические исследования. 2015. 16. № 1. С. 24–34.

Куницын В.Е., Шалимов С.Л. Ультранизкочастотные вариации магнитного поля при распространении в ионосфере акустико-гравитационных волн // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2011. № 5. С. 75.

Шалимов С.Л. Правило скорейшей реакции в теории геодинамо // Докл. РАН. 2014. Т. 458. № 4. С. 470–472.

Surkov V.V., Pilipenko V.A. Magnetic effects due to earthquakes and underground explosions: a review // Annals of Geophysics, 1997. V. 40. № 2. P. 227–239, <https://doi.org/10.4401/ag-3904>

Velimsky J., Knopp O. Lateral variations of electrical conductivity in the lower mantle constrained by Swarm and CryoSat-2 missions // Earth Planets and Space. 2021. V. 73. № 4. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01334-8>

## On the Magnetic Effects due to the Earthquake of March 16, 2022 in Japan

N. S. Nosikova<sup>a</sup>, V. A. Pilipenko<sup>a</sup>, and S. L. Shalimov<sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup>*Schmidt Joint Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia*

<sup>\*</sup>*E-mail: pmsk7@mail.ru*

**Abstract**—The magnetic effects of two similar underwater earthquakes with magnitudes of 6.0 and 7.3, which occurred on March 16, 2022, were considered in [Adushkin et al., 2023]. According to the data of INTERMAGNET magnetic observatories, these earthquakes were found to be accompanied (with a delay of ~55 min) by variations in the Earth’s magnetic field in the form of a train of quasi-periodic oscillations with an amplitude of ~2–8 nT and a period of ~30 min at distances of ~210 to ~3000 km from the epicenter. It was suggested in the aforementioned study that this magnetic effect is caused by a perturbation of the geodynamo as a result of the impact of seismic waves propagating deep into Earth. This interesting hypothesis requires a detailed discussion from different points of view. A more detailed analysis of the pattern of geomagnetic field perturbation at all latitudes, performed by us, leads to a conclusion that the found quasi-periodic perturbation is a mid-latitude response to auroral electrojet variations and is not related to the earthquake. According to our estimates, variations with a source at the core–mantle interface on a time scale less than 1 year cannot manifest themselves on the Earth’s surface at all.

*Keywords:* earthquake, ionosphere, magnetic field, geodynamo