

СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК 550.385.3+551.510.535

МАГНИТНЫЙ И ИОНОСФЕРНЫЙ ЭФФЕКТЫ СЕРИИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 02–03 АПРЕЛЯ 2024 г. (ТАЙВАНЬ)

© 2024 г. Академик РАН В. В. Адушкин*, А. А. Спивак**,
С. А. Рябова***, А. В. Тихонова****

Поступило 16.05.2024 г.

После доработки 27.05.2024 г.

Принято к публикации 29.05.2024 г.

На основе анализа данных геофизической обсерватории “Михнево” ИДГ РАН и ряда обсерваторий международной сети INTERMAGNET рассмотрены возмущения геомагнитного поля в приземной атмосфере в период серии сильных землетрясений, произошедших 02–03 апреля 2024 г. в окрестности о. Тайвань. Показано, что в отсутствие значимых глобальных возмущений магнитного поля Земли, связанных с солнечной активностью, землетрясения сопровождались геомагнитными вариациями с максимальной амплитудой ~ 10 нТл и общей длительностью около четырёх часов. Время запаздывания магнитного эффекта относительно главного толчка первого наиболее сильного землетрясения составило ~ 60 мин. По результатам обработки ионограмм высотно-частотного зондирования, полученных на станции мониторинга ионосферы “Окинава” и выложенных в свободном доступе на сайте Японского национального института информационных и коммуникационных технологий, установлен ионосферный эффект рассматриваемого события в виде вариаций критической частоты $F2$ -слоя ионосферы.

Ключевые слова: землетрясение, инструментальные наблюдения, магнитное поле, критическая частота $F2$ -слоя ионосферы, вариация

DOI: 10.31857/S2686739724100146

Вариации физических полей Земли являются важным объектом исследований, в первую очередь в связи с их высокой чувствительностью к внешним возмущениям, вызванным явлениями и процессами природного и техногенного происхождения [1]. Геомагнитные вариации содержат важную информацию об интенсивности экзогенных и эндогенных источников возмущений среды обитания человека, а также о природе и механизмах геофизических процессов, протекающих в недрах Земли и её внешних геосферах. Хорошо известно также негативное влияние вариаций магнитного поля на организм человека, его психоэмоциональное состояние. Влияя на ход метаболических процессов, указанные

вариации нарушают условия передачи и восприятия управляющих сигналов в организме человека, что приводит в ряде случаев к его разбалансировке и ухудшению функционального состояния [2–4]. Всё это вызывает повышенный интерес к изучению вариаций магнитного поля, вызванных самыми разными источниками [1, 5].

Наряду с геомагнитными эффектами значительной амплитуды, связанными с солнечной активностью, наблюдаются эффекты, связанные с процессами и явлениями разной природы, протекающими как в верхних, так и в нижних геосферах [6–8].

В настоящем сообщении рассматриваются геофизические эффекты в виде вызванных вариаций магнитного поля и критической частоты $F2$ -слоя ионосферы при резонансном сейсмическом событии, произошедшем в период 02–03.04.2024 г. в окрестности о. Тайвань. Событие представляло собой серию землетрясений, среди которых наиболее значимыми были

Институт динамики геосфер имени академика
М.А. Садовского Российской Академии наук, Москва, Россия
*E-mail: adushkin@idg.ras.ru
**E-mail: spivak@idg.ras.ru
***E-mail: riabova@idg.ras.ru
****E-mail: tikhonova@idg.ras.ru

Таблица 1. Характеристика наиболее сильных землетрясений, произошедших в период 02–03.04.2024 г., по данным из каталога USGS на момент 15.04.2024 г.

№ п/п	Дата	Время (UTC)	Магнитуда	Географические координаты		Глубина, км
				Широта	Долгота	
1	02.04.2024	23:58:11	7.4	23.819° N	121.562° W	~35
2	03.04.2024	00:10:25	6.4	24.064° N	121.672° W	~13
3	- « -	00:35:36	5.7	24.161° N	121.710° W	~10
4	- « -	00:46:44	5.7	24.147° N	121.743° W	~10

17 землетрясений с магнитудой, превышающей 5, которые произошли в течение 2.5 час. При этом наиболее сильные 4 землетрясения с магнитудой 5.7 и более произошли в течение 2 часов (табл. 1). Следует отметить, что эти события следовали друг за другом через короткое время, а расстояние между их очагами не превышало 41 км (табл. 1).

В качестве исходных данных привлекались результаты инструментальных наблюдений, выполненных в Геофизической обсерватории “Михнево” ИДГ РАН (МНВ, 54.96° с. ш.; 37.76° в. д.) и в ряде активно функционирующих в этот период времени обсерваториях сети INTERMAGNET (табл. 2) [7, 9]. Анализировались вариации наиболее чувствительной к внешним возмущениям горизонтальной компоненты магнитной индукции B_x , ориентированной в направлении С–Ю. Период рассматриваемого события характеризовался спокойной геомагнитной обстановкой (табл. 3), что значительно упростило выделение вызванных возмущений магнитного поля.

При анализе влияния землетрясений на ионосферу привлекались в виде ионограмм результаты высотно-частотного зондирования, выполненного в период рассматриваемого события на одной из ближайших к о. Тайвань японской станции мониторинга ионосферы “Окинава” (ГЕО: 26.68° с. ш.; 128.15° в. д.), размещённые в свободном доступе на сайте Японского национального института информационных и коммуникационных технологий [10].

На рис. 1 в качестве примера приведены вариации магнитного поля, зарегистрированные в обсерватории МНВ в период рассматриваемого сейсмического события.

Предварительно необходимо отметить, что сейсмамагнитный (косейсмический) эффект, выражающийся в вариациях магнитного поля в период прохождения вызванных

Таблица 2. Данные магнитных обсерваторий

Код	ГЕО		R, км
	Широта	Долгота	
KNY	31.42° с. ш.	130.88° в. д.	~1250
CYG	30.37° ю. ш.	126.854° в. д.	~1480
PHU	21.03° с. ш.	105.96° в. д.	~1630
BMT	40.3° с. ш.	116.2° в. д.	~1900
КАК	36.232° с. ш.	140.186° в. д.	~2250
KHB	47.61° с. ш.	134.69° в. д.	~2890
MMB	43.91° с. ш.	144.19° в. д.	~3040
SHU	55.35° с. ш.	150.46° з. д.	~7100
CSY	66.283° ю. ш.	110.533° в. д.	~10060
TAM	22.79° с. ш.	5.53° в. д.	~11380
VOS	78.464° ю. ш.	106.835° в. д.	~11410
GUI	28.321° с. ш.	16.441° з. д.	~12750

землетрясениями сейсмических волн, не проявился (приход сейсмических волн в МНВ зарегистрирован в 00:07 UTC 03.04.2024 г.). Из данных рис. 1 следует, что период землетрясений характеризуется хорошо выраженными длиннопериодными возмущениями суточного хода индукции магнитного поля в МНВ (расстояние от очага первого наиболее сильного землетрясения составляет ~7470 км). Начало возмущения зарегистрировано в ~0:58 UTC 03.04.2024 г., то есть примерно через 1 час после первого основного по силе толчка. Вызванные вариации вертикальной компоненты B_z представляют собой отрицательную бухту с максимальной амплитудой ~8 нТл. Причём длительность вариации B_z составляет 3–4 часа.

Таблица 3. Индексы магнитной активности K (по данным MHV) и Kp (по данным International Service of Geomagnetic Indices (ISGI)) за 02–03.04.2024 г.

Индекс	Дата, время (UTC)							
	02.04.2024		03.04.2024					
	18–21	21–24	0–3	3–6	6–9	9–12	12–15	15–18
K	2	0	2	1	1	2	2	1
Kp	2	1	3	2	1	1	1	2

Более сложный отклик демонстрирует основная горизонтальная компонента B_x : возмущения магнитного поля представлены в данном случае двумя ярко выраженными положительными бухтами с максимальной амплитудой ~ 10 нТл. Начало возмущений зарегистрировано в $\sim 00:58$ UTC, первый максимум наблюдался в $\sim 01:30$ UTC 03.04.2024 г., второй в $\sim 04:00$ UTC 03.04.2024 г. Характерно, что подобные возмущения компоненты B_x зарегистрированы в ряде обсерваторий

международной сети INTERMAGNET. Для примера на рис. 2 представлены записи вариаций магнитного поля в период Тайваньского события, полученные в некоторых обсерваториях сети INTERMAGNET. Обращаясь к данным рис. 2, следует отметить, что возмущения компоненты B_x , проявляющиеся в виде двух положительных бухт, как это наблюдалось в обсерватории MHV, зарегистрированы в обсерваториях, расположенных на расстояниях, превышающих

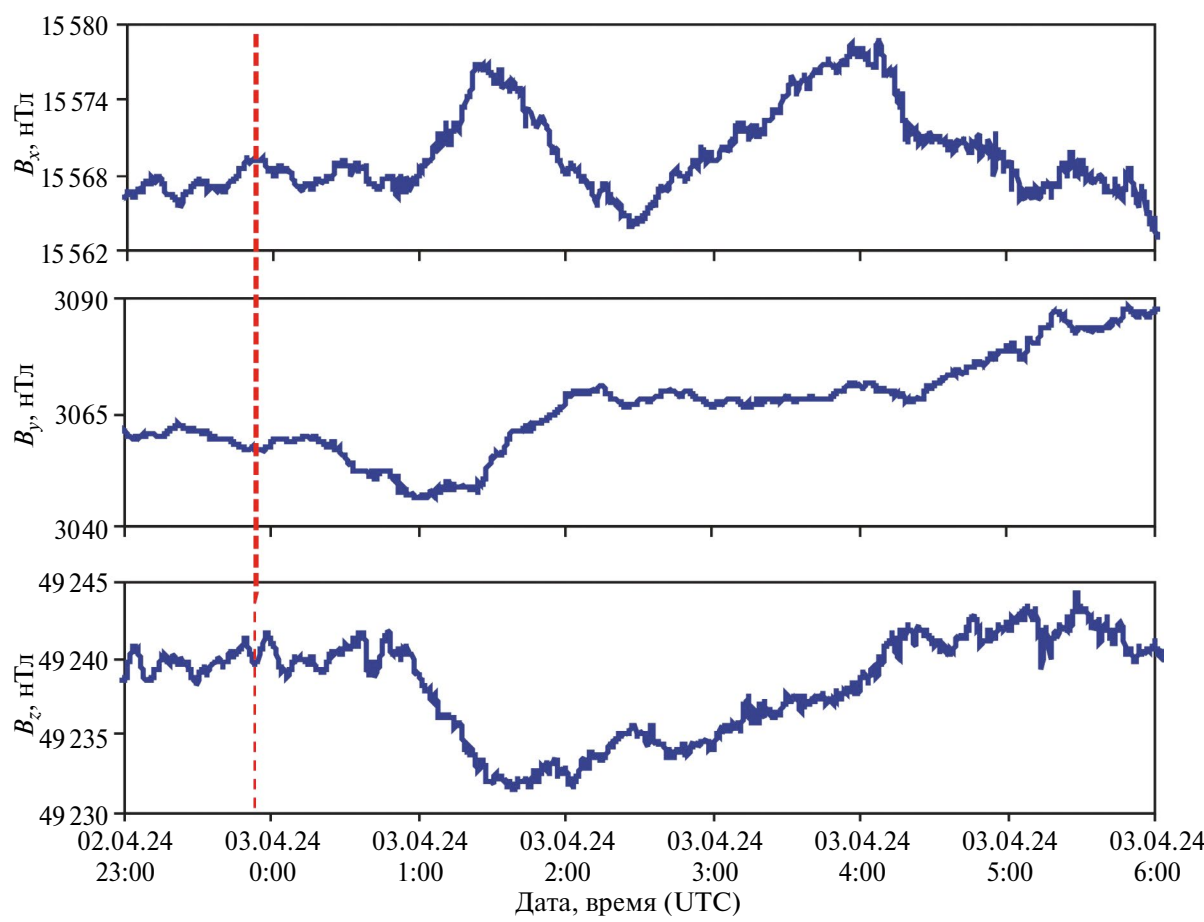


Рис. 1. Вариации компонент магнитного поля 02–03.04.2024 г. по данным MHV (пунктиром обозначено время события I из табл. 1)

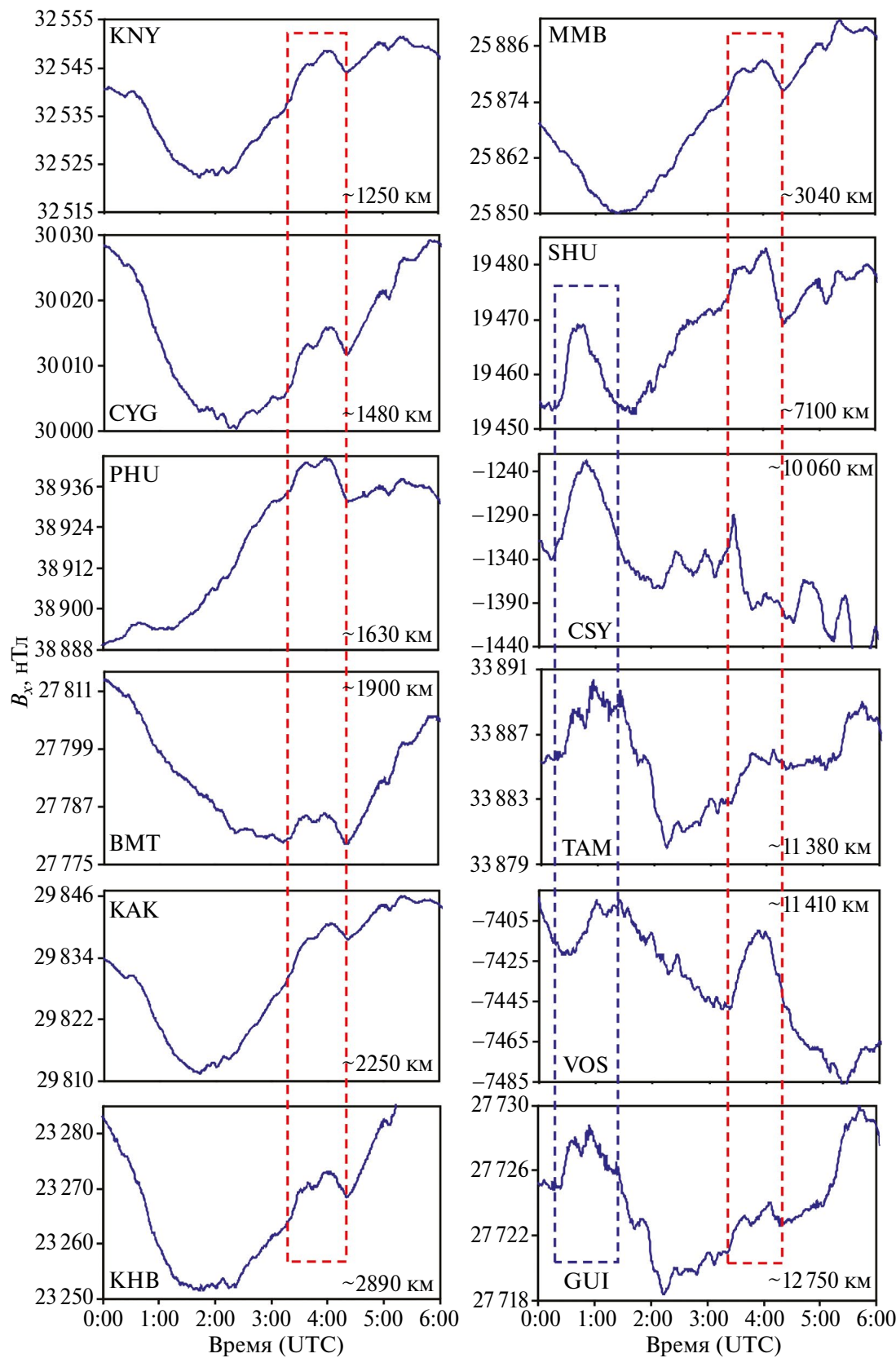


Рис. 2. Вариации компонент магнитного поля 02–03.04.2024 г. по данным обсерваторий INTERMAGNET (коды обсерваторий приведены в поле рисунка). Синим и красным пунктиром обозначены первое и второе по времени возмущения магнитного поля соответственно.

примерно 7000 км от очага основного события 1 из табл. 1. На расстояниях, меньших примерно 3000 км, возмущение компоненты B_x проявляется в виде одной положительной бухты в период времени с $\sim 03:25$ до $\sim 04:25$ UTC 03.04.2024 г.

Отдельно необходимо отметить синхронность наблюдаемых вариаций магнитного поля, сопутствующих рассматриваемому сейсмическому событию, в широком диапазоне эпицентральных расстояний и достаточно узкий интервал максимальных амплитуд. Это свидетельствует о наличии единого глобального источника возмущений, сформировавшегося в результате серии землетрясений. Ранее отмечалось, что сильные землетрясения способны оказывать возмущающее влияние на главное магнитное поле Земли [11, 12]. Действительно, возможные возмущения процессов, протекающих в жидком ядре Земли, вариации электрофизических свойств астеносферы и земной коры и одновременно нарушение устоявшихся движений токопроводящей среды под влиянием сейсмического воздействия, особенно в случае повторяющихся через небольшие промежутки времени землетрясений с близко расположенными очагами, могут вызывать аппаратно регистрируемый магнитный эффект.

При выполнении настоящих исследований выполнялось определение критической частоты f^oF2 путём ручной обработки ионограмм с интерпретацией по методике URSI [13]. В результате формировался цифровой ряд данных временной вариации критической частоты $F2$ -слоя f^oF2 с дискретизацией 15 мин. Анализ полученных данных показал, что рассматриваемое событие оказало возмущающее влияние на ионосферу в виде вариаций f^oF2 (рис. 3). Из рис. 3 следует, что следующие друг за другом через небольшой интервал наиболее сильные землетрясения из рассматриваемой серии вызвали хорошо выраженные на фоне суточного хода знакопеременные вариации критической частоты f^oF2 на двух временных интервалах: 00:15–00:45 UTC и 01:45–02:45 UTC. При этом первое по времени возмущение проявилось в виде положительной бухты с максимальной амплитудой ~ 0.7 МГц, второе – в виде знакопеременных вариаций с периодом ~ 30 мин и максимальной амплитудой ~ 0.9 МГц. Анализ записи с использованием данных работ [14–16] позволяет сделать заключение о том, что первое возмущение, зарегистрированное в период 00:15–00:45 UTC, связано с ионосферным откликом на волну Релея, второе, зарегистрированное в период 01:45–02:45 UTC, с большой вероятностью связано с

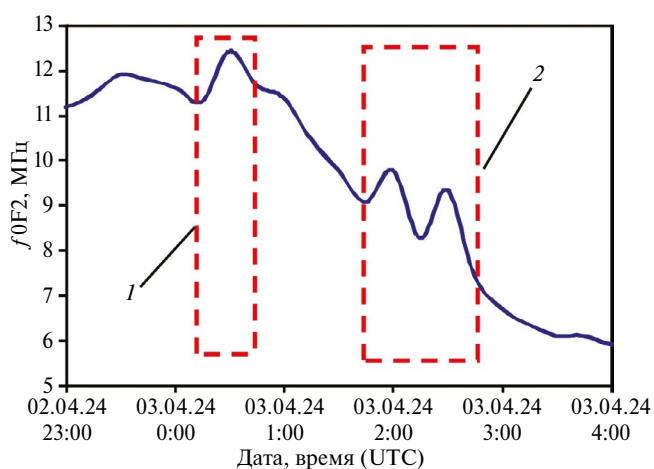


Рис. 3. Вариации критической частоты слоя $F2$ ионосферы на ионосферной станции «Окинава» 02–03.04.2024 г. (красным пунктиром обозначены первый (1) и второй (2) периоды возмущения f^oF2).

распространением внутренних гравитационных волн.

Таким образом, можно констатировать, что серия сильных землетрясений вызывает сложный для анализа магнитный эффект, характеристики которого зависят от расстояния до источника возмущений и механизм которого необходимо устанавливать с учётом результатов инструментальных наблюдений. Также представляет интерес более детальное изучение характера и возможных источников и механизмов воздействия сильных землетрясений на ионосферу.

Приведённые в настоящем сообщении данные, по мнению авторов, представляют интерес с точки зрения накопления наблюдательного материала и количественных оценок геофизических последствий сильных землетрясений. Данные могут оказаться полезными при разработке и верификации аналитических и численных моделей, описывающих их влияние на среду обитания.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 122032900185-5 «Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адушкин В. В., Спивак А. А. Физические поля в приповерхностной геофизике. М.: ГЕОС, 2014. 360 с.
2. Казначеев В. П., Михайлова Л. П. Биоинформационные функции естественных электромагнитных полей. Новосибирск: Наука, 1985. 180 с.

3. Сейсфулла Р.Д. Магнитное поле Земли и здоровье человека. М.: ООО "Самполиграфист", 2013. 120 с.
4. Колесник А.Г., Колесник С.А., Побаченко С.В. Электромагнитная экология. Томск: ТМЛ-пресс, 2009. 336 с.
5. Pilipenko V.A., Shiokawa K. A closer cooperation between space and seismology communities – a way to avoid errors in hunting for earthquake precursors // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2024. V. 24. <https://doi.org/10.2205/2024ES000890>
6. Адушкин В.В., Спивак А.А. Воздействие экстремальных природных событий на геофизические поля в среде обитания // *Физика Земли*. 2021. № 5. С. 6–16.
7. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А. Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов. М.: ГЕОС, 2021. 264 с.
8. Спивак А.А., Рябова С.А. Геомагнитные вариации при сильных землетрясениях // *Физика Земли*. 2019. № 6. С. 3–12.
9. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
10. <http://www.wdc.nict.go.jp>
11. Адушкин В.В., Спивак А.А. Эффект влияния сильных землетрясений на геодинamo // *Доклады РАН. Науки о Земле*. 2023. Т. 511. № 1. С. 61–64.
12. Адушкин В.В., Спивак А.А., Рыбнов Ю.С., Тихонова А.В. Магнитный эффект двойного землетрясения 16.03.2022 г. (Япония). Результаты наблюдений // *Физика Земли*. 2023. № 5.
13. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм. Под редакцией П.В. Медниковой. М.: Наука, 1977. 342 с.
14. Рябова С.А., Шалимов С.Л. О геомагнитных вариациях, наблюдаемых на поверхности земли и приуроченных к сильным землетрясениям // *Физика Земли*. 2022. № 4. С. 30–45. <https://doi.org/10.31857/S0002333722040081>
15. Рябова С.А., Ольшанская Е.В., Шалимов С.Л. Отклик нижней и верхней ионосферы на землетрясения в Турции 06.02.2023 г. // *Физика Земли*. 2023. № 6. С. 153–162. <https://doi.org/10.31857/S0002333723060182>
16. Maruyama T., Tsugawa T., Kato H., Ishii M., Nishio-ka M. Rayleigh wave signature in ionograms induced by strong earthquakes // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2012. V. 117. A08306. <https://doi.org/10.1029/2012JA017952>

MAGNETIC AND IONOSPHERIC EFFECTS OF A SERIES OF STRONG EARTHQUAKES ON APRIL 02–03, 2024 (TAIWAN)

Academician of the RAS V. V. Adushkin[#], A. A. Spivak^{##},
S. A. Riabova^{###}, A. V. Tikhonova^{####}

Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

[#]E-mail: adushkin@idg.ras.ru, ^{##}E-mail: spivak@idg.ras.ru
^{###}E-mail: riabova@idg.ras.ru, ^{####}E-mail: tikhonova@idg.ras.ru

Based on the analysis of data from the Mikhnevo geophysical observatory of the IDG RAS and a number of observatories of the international INTERMAGNET network, the disturbances of the geomagnetic field in the surface atmosphere were considered during a series of strong earthquakes that occurred on April 02–03, 2024 in the vicinity of the island of Taiwan. It is shown that in the absence of significant global disturbances of the Earth's magnetic field, earthquakes were accompanied by geomagnetic variations with a maximum amplitude of ~10 nT and a total duration of about 4 hours. The delay time of the magnetic effect relative to the main shock of the first earthquake was ~60 minutes. Based on the results of processing ionograms of height-frequency sounding obtained at the Okinawa ionospheric monitoring station and freely available on the website of the Japan National Institute of Information and Communication Technologies, the ionospheric effect of the event in question was established in the form of variations in the critical frequency of the *F2* layer of the ionosphere.

Keywords: earthquake, instrumental observations, magnetic field, critical frequency of the *F2* layer of the ionosphere, variation