УДК 550.388. 550.510

## МАГНИТНЫЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ЭКСПЛОЗИВНОЙ СТАДИИ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА СТРОМБОЛИ (03.07.2019 г., ИТАЛИЯ)

© 2020 г. А. А. Спивак<sup>1,\*</sup>, С. А. Рябова<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН В. В. Адушкиным 18.09.2019 г. Поступило 19.09.2019 г. После доработки 28.02.2020 г. Принято к публикации 13.04.2020 г.

С использованием результатов инструментальных наблюдений, выполненных в ряде обсерваторий сети ИНТЕРМАГНЕТ и Геофизической обсерватории "Михнево" ИДГ РАН. Анализируется отклик магнитного поля Земли и электрических параметров атмосферы на извержение вулкана Стромболи (03.07.2019 г., Италия). Показано, что начало извержения вулкана Стромболи, которое имеет эксплозивный характер, сопровождалось выраженными геомагнитными вариациями, а также вариациями напряженности электрического поля и амплитуды атмосферного тока на значительном расстоянии от источника возмущений.

*Ключевые слова:* вулканическое извержение, эксплозия, вариация, магнитное поле, электрическое поле, атмосферный ток

DOI: 10.31857/S2686739720070191

Сильные локальные возмущения геофизической среды и геофизических полей, вызванные процессами природного и техногенного происхождения, являются важным объектом исследований [1]. Изучение характеристик таких возмущений представляет особый интерес не только с точки зрения идентификации источника и установления его характеристик, но также для получения информации о самой природной среде, поскольку характер и количественные характеристики ее реакции на внешние возмущения во многом определяются ее динамическими свойствами.

Вулканическая деятельность особенно крупных вулканов представляет собой один из наиболее мощных источников возмущения геофизической среды. Извержения сопровождаются рядом атмосферных и электрических эффектов, регистрируемых на разных расстояниях от источника [2–7].

В настоящем сообщении в качестве примера рассматриваются возмущения электрического и магнитного поля Земли, вызванные первой, эксплозивной стадией извержения вулкана "Стромболи" (о. Стромболи, Италия). Пароксизмальная активность указанного вулкана после достаточно долгого перерыва возобновилась 3 августа 2019 г. примерно в 13:50 UT<sup>1</sup>. По данным Национального института геофизики и вулканологии Италии (INGV) в период с 13:50 до 15:00 UT было зафиксировано несколько эксплозий, сопровождавшихся интенсивным выбросом в атмосферу газов и пирокластического материала, что вызвало, как показано ниже, геомагнитные вариации и вариации электрических характеристик атмосферы.

При изучении геофизических эффектов извержения вулкана "Стромболи" в качестве исходных данных использовались данные магнитной регистрации трех компонент магнитного поля  $B_x$ ,  $B_v$  и  $B_z^2$  обсерваторий сети ИНТЕРМАГНЕТ, расположенных на разных расстояниях от вулкана *R* (табл. 1), и среднеширотной геофизической обсерватории "Михнево" ИДГ РАН (MHV) [8]. При описании электрических возмущений приземного слоя атмосферы использовались результаты непрерывной регистрации вертикальных компонент атмосферного электрического поля Е и атмосферного тока *I* в МНУ. Анализировались данные, полученные в эксплозивный период извержений вулкана "Стромболи". Следует отметить, что указанный период времени характеризуется низкой магнитной активностью (табл. 2) и отсут-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Институт динамики геосфер Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>\*</sup>E-mail: spivak@idg.chph.ras.ru

 $<sup>^{1}\</sup> https://www.volcanodiscovery.com/stromboli/eruptions/3ju-$ 

ly2019-explosion.html

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Направление осей координат: *х* – С–Ю, *у* – В–З, *z* – вертикально вниз.

Наименование пункта наблюдения	Обозначение	Широта, град	Долгота, град.	Расстояние <i>R</i> , км	
Бельск (Польша)	BEL	51.84	20.79	~1514	
Борок (Россия)	BOX	58.07	38.23	~2755	
Иркутск (Россия)	IRT	52.27	104.45	~6564	
Киев (Украина)	KIV	50.72	30.3	~1776	
Львов (Украина)	LVV	49.9	23.75	~1408	
Михнёво* (Россия)	MHV	54.94	37.73	~ 2460	
Новосибирск (Россия)	NVS	54.85	83.23	~5242	
С Петербург (Россия)	SPG	60.542	29.716	~2620	
Хабаровск (Россия)	KHB	47.61	134.69	~9119	

Таблица 1. Пункты геомагнитных наблюдений

Примечание. Звездочкой обозначена магнитная обсерватория, не входящая в сеть ИНТЕРМАГНЕТ.

ствием значимых возмущений электрического поля от природных и техногенных источников, что значительно упростило анализ влияния вулканической деятельности на рассматриваемые физические поля.

Характер вариаций наиболее чувствительной к внешним возмущениям горизонтальной компоненты магнитного поля  $B_H$  [9], в период начальной стадии извержения вулкана отличается по данным разных обсерваторий. В ряде обсерваторий вызванные эксплозивной стадией извержения вулкана "Стромболи" вариации характеризуются выраженным бухтообразным повышением  $B_H$  (рис. 1, левая колонка). Данные других обсерваторий свидетельствуют о знакопеременном характере вызванных вариаций  $B_H$  (рис. 1, правая колонка). При этом интересно отметить, что максимальные амплитуды бухтообразного повышения и периодических вариаций *B<sub>H</sub>* характеризуются для всех расстояний амплитудой в достаточно узком диапазоне: ~5-10 нТл. Длительности обоих видов вызванных возмущений также примерно одинаковы и составляют ~100-120 мин.

В качестве характерной особенности представленных на рис. 1 данных следует отметить близкие по времени начала вариаций магнитного поля для обсерваторий, расположенных на значительно отличающихся расстояниях *R* от вулкана (табл. 1), что может свидетельствовать о глобальном характере вызванных геомагнитных воз-

Таблица 2. К-индекс магнитной активности в период эксплозивной стадии извержения вулкана "Стромболи" по данным MHV

Дата	Время (UT)								
	0-3	3—6	6–9	9–12	12-15	15-18	18-21	21–24	
03.07.2019	0	0	1	2	1	2	1	0	

мущений, либо о распространении возмущений с большой скоростью.

Изменение хода Е в период эксплозии вулкана по данным MHV представлено на рис. 2. Из данных рис. 2 следует, что примерно в 14:00-14:10 UT, то есть на самой ранней стадии вулканической активности, в MHV отмечается возмущение E в виде возникновения периодических вариаций с максимальной амплитудой ~80 В/м и средним периодом ~40 мин.

Пароксизмальный характер начальной стадии извержения вулкана "Стромболи" оказал также влияние на амплитуду атмосферного тока. Данные, приведенные на рис. 3 свидетельствуют о том, что в первые моменты эксплозивной стадии извержения вулкана наблюдаются повышенные значения среднеквадратичной амплитуды I<sub>0</sub> вертикальной компоненты атмосферного тока в обсерватории MHV.

Приведенные выше результаты показывают, что начало извержения вулкана "Стромболи", которое имеет эксплозивный характер, сопровождалось выраженными геомагнитными вариациями, а также вариациями напряженности электрического поля и амплитуды атмосферного тока, зарегистрированными на значительном расстоянии от источника возмущений. Характерно при этом, что возмущения всех рассматриваемых геофизических полей, возникают через малое время после эксплозии. Это дает основания предполагать, что наиболее вероятным механизмом передачи возмущения в пространстве является механизм акустического (акустико-гравитационные волны) и электрического воздействия вулкана на эпицентральную область ионосферы при дальнейшем распространении этого возмущения по ионосфере с большой скоростью (~20 км/с), например, в виде магнитогидродинамической волны на значительные расстояния, причем с малым затуханием [10].



**Рис. 1.** Вариации горизонтальной компоненты магнитного поля Земли в период эксплозивной стадии извержения вулкана "Стромболи" (данные обсерваторий сети ИНТЕРМАГНЕТ и МНV).



**Рис. 2.** Вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля E в период эксплозивной стадии извержения вулкана "Стромболи" (данные MHV).



**Рис. 3.** Среднеквадратичное отклонение амплитуды вертикального атмосферного тока в период эксплозивной стадии извержения вулкана "Стромболи" (данные MHV).

Для объяснения характера и амплитуд вызванных вариаций рассмотренных геофизических полей, в частности, двух видов геомагнитных вариаций, требуется проведение специальных исследований с целью установления механизмов возмущающего воздействия вулканических извержений на геофизическую среду с учетом общей геофизической обстановки и одновременно локальных условий, в которых выполняется регистрация.

По мнению авторов предложенный в сообщении материал, а это результаты не частых в настоящее время инструментальных наблюдений, окажутся полезными исследователям при разработке теоретических и расчетных моделей воздействия вулканов на геофизическую среду, выступая в качестве необходимой основы для их верификации.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены по государственному заданию (тема АААА–А–19–119021890067–0).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Проблемы взаимодействия геосфер и физических полей в приповерхностной геофизике // Физика Земли. 2019. № 1. С. 4–15.
- 2. Адушкин В.В., Гостинцев Ю.А., Фирстов П.П. О природе воздушных волн при сильных эксплозивных извержениях // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 3–11.

- 3. Фирстов П.П., Адушкин В.В., Сторчеус А.В. Ударные воздушные волны, зарегистрированные во время большого трещинного Толбаченского извержения в сентябре 1975 г. // ДАН. 1978. Т. 239. № 5. С. 1078–1081.
- Фирстов П.П., Акбашев Р.Р., Холзворт Р., Чернева Н.В., Шевцов Б.М. Атмосферно-электрические эффекты во время экплозии вулкана Шевелуч 16 ноября 2014 г. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 1. С. 29–37.
- 5. Фирстов П.П., Акбашев Р.Р., Жаринов Н.А., Максимов А.П., Маневич Т.М., Мельников Д.В. Электризация эруптивных облаков вулкана Шевелуч в зависимости от характера эксплозии // Вулканология и сейсмология. 2019. № 3. С. 49–62.
- 6. *Tahira M.A.* Study of the Long Range Propagation of Infrasonic Waves in Atmosphere. Observation of the Volcanic Infrasonic Waves Propagating through the Thermospheric Dust // Meteorol. Soc. Japan. 1988. V. 66. № 1. P. 17–26.
- Mather T.A., Harrison R.G. Electrification of Volcanic Plumes // Surveys in Geophysics. 2006. V. 27. № 4. P. 387–432.
- 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. 108–120.
- 9. *Рябова С.А., Спивак А.А.* Геомагнитные эффекты в приповерхностной зоне Земли. М.: Графитекс. 2019. 150 с.
- Сорокин В.М., Федорович Г.В. Физика медленных МГД-волн в ионосферной плазме. М.: Энергоиздат. 1982. 136 с.

## MAGNETIC AND ELECTRICAL EFFECTS OF THE EXPLOSIVE STAGE OF THE ERUPTION OF THE STROMBOLI VOLCANO (July 3, 2019, Italy)

A. A. Spivak<sup>*a*,#</sup> and S. A. Riabova<sup>*a*</sup>

<sup>a</sup> Institute of Geosphere Dynamics. Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation <sup>#</sup>E-mail: spivak@idg.chph.ras.ru Presented by Academician of the RAS V. V. Adushkin

We research the response of Earth's magnetic field and electrical parameters of the atmosphere on the eruption of Stromboli (03/07/2019. Italy) using the results of instrumental observations carried out at several observatories of INTERMAGNET network and Geophysical Observatory "Mikhnevo" of Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences. It is shown that the beginning of the eruption of Stromboli volcano. which has an explosive character, was accompanied by pronounced geomagnetic variations, as well as variations in the electric field intensity and the amplitude of the atmospheric current at a considerable distance from the disturbance sources.

Keywords: volcanic eruption, explosion, variation, magnetic field, electric field, atmospheric current