

УДК 550.37

УДАЛЕННЫЙ ОТКЛИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И АТМОСФЕРНОГО ТОКА НА СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

© 2020 г. С. А. Рябова^{1,*}, А. А. Спивак¹

Представлено академиком РАН В.В. Адушкиным 13.07.2020 г.

Поступило 15.07.2020 г.

После доработки 26.08.2020 г.

Принято к публикации 27.08.2020 г.

На основе данных инструментальных наблюдений, выполненных в Геофизической обсерватории “Михнево” и Центре геофизического мониторинга Москвы ИДГ РАН, анализируются вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля и атмосферного тока, сопутствующие сильным землетрясениям с магнитудой, превышающей 6. Показано, что сильные землетрясения вызывают знакопеременные вариации электрического поля, либо бухтообразные вариации положительного или отрицательного знака на значительных расстояниях от очага события. Одновременно землетрясения вызывают вариации атмосферного тока в виде его увеличения, либо знакопеременных вариаций усредненной амплитуды. Представленные результаты дополняют соответствующую базу данных и могут представлять интерес при совершенствовании известных и разработке новых моделей влияния землетрясений на окружающую геофизическую среду и их верификации.

Ключевые слова: землетрясение, вариации электрического поля, атмосферный ток, вертикальная компонента напряженности электрического поля

DOI: 10.31857/S2686739720110122

Землетрясение как катастрофическое явление остается одним из недостаточно изученных и прогнозируемых, несмотря на достигнутый технический прогресс и расширение сети регистрации сейсмической активности. Динамические проявления землетрясений и сопутствующие им геофизические эффекты являются в настоящее время одним из наиболее важных объектов исследований в области наук о Земле. Исследования последних лет убедительно свидетельствуют о связи между литосферными процессами, сопровождающими подготовку землетрясений и их развитие, и возмущениями в приземной атмосфере и ионосфере [1–3]. В частности, на основе анализа данных мониторинга в приповерхностных слоях Земли и спутниковых данных показано, что на последней стадии подготовки, а также в периоды основного толчка и афтершоковой активности, возникают электромагнитные возмущения в широком спектральном интервале [4, 5]. Такого рода исследования носят не только фундаментальный, но и прикладной характер в части со-

вершенствования и разработки новых подходов к прогнозу сейсмических событий [3, 6].

Следует отметить, что предложенные механизмы электрических аномалий, вызванных сейсмическими событиями, не объясняют выявленное во многих случаях резкое изменение хода напряженности электрического поля непосредственно перед землетрясениями, и особенно в период основного толчка [7, 8]. В этой связи остаются актуальными инструментальные исследования, направленные на установление отклика атмосферного электрического поля на землетрясения.

В настоящем сообщении представлены предварительные результаты наблюдений за вариациями напряженности электрического поля и атмосферного тока в приземной атмосфере в условиях центральной части Восточно-Европейской платформы, сопровождающимися сильными землетрясениями.

В качестве исходных данных привлекались результаты регистрации вертикальной составляющей напряженности электрического поля E в Геофизической обсерватории “Михнево” (МНВ) с координатами 54.94° с.ш.; 37.73° в.д. и в Центре геофизического мониторинга г. Москвы (ЦГМ) с координатами 55.71° с.ш.; 37.57° в.д. Института динамики геосфер им. академика М.А. Садовского Российской академии наук (ИДГ РАН), расположенных в центральной части Восточно-Евро-

¹ Институт динамики геосфер им. академика М.А. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: riabovasa@mail.ru

Таблица 1. Перечень рассмотренных землетрясений

№ п/п	Дата	Время (UT)	Магнитуда	Район	R , км	ΔE , В/м
1	30.11.2018	17:29	7.1	Аляска	7100	~60
2	09.09.2018	19:31	6.5	Соломоновы о-ва	13000	~50
3	06.09.2018	15:50	7.9	О-ва Фиджи	14800	~30
4	05.09.2018	18:07	6.6	Япония	7000	~20
5	24.08.2018	09:06	7.1	Перу	12200	~55
6	19.08.2018	14:56	6.9	Индонезия	10100	~10
7	17.08.2018	15:35	6.5	Индонезия	10200	~70
8	07.07.2018	21:33	6.0	Нов. Зеландия	16100	~100
9	18.05.2018	01:45	6.1	О-ва Кермадек	16400	~20
10	02.05.2018	06:32	6.0	О-в Пасхи	15800	~150
11	26.03.2018	09:51	6.7	Новая Гвинея	12000	~140
12	06.03.2018	14:13	6.7	Новая Гвинея	11500	~60
13	25.02.2018	17:44	7.5	Новая Гвинея	11500	~30
14	28.01.2018	16:03	6.6	Юго-запад Африки	12300	~45
15	24.10.2017	10:47	6.7	Индонезия	10300	~130
16	18.08.2017	02:59	6.6	О-в Вознесения	7800	~50
17	17.07.2017	23:34	7.7	Командорские о-ва	7100	~55
18	14.08.2016	11:15	5.7	О-в Сахалин	6400	~70

пейской платформы на расстоянии ~85 км друг от друга [9, 10]. Непрерывные наблюдения за вариациями атмосферного электрического поля организованы с 2008 г. в МНУ и с 2014 г. в ЦГМ. Мониторинг электрического поля проводится в обоих пунктах с использованием электростатических флюксометров ИНЭП, технические характеристики которых обеспечивают устойчивую регистрацию напряженности электрического поля в частотном диапазоне от 0 до 20 Гц с амплитудами от 1 В/м до 10 кВ/м и более с точностью $\pm 5\%$ в зависимости от конкретного экземпляра прибора (с целью очистки рабочих поверхностей ИНЭП от загрязнения регистраторы периодически сменяются).

В дополнение к данным мониторинга вариаций вертикальной составляющей напряженности электрического поля при выполнении исследований привлекались данные непрерывной регистрации атмосферного тока в МНУ. Измерения вертикального атмосферного тока осуществлялись с помощью компенсационного регистратора тока с частотой выборки 1 с^{-1} [11].

В настоящей работе вариации электрического поля исследуются в период сильных ($M_w \geq 6$) землетрясений, произошедших в период с 2014 г. по 2018 г. (табл. 1). Перечень изучаемых землетрясений определялся по погодным условиям в пунктах регистрации. Анализировались данные, полученные в периоды, характеризующиеся условиями так называемой “хорошей погоды” (отсутствие каких-

либо осадков, в том числе тумана и дымки, скорость ветра не более 4.5 м/с, отсутствие сильной облачности и т.д. [12, 13]), а также отсутствием возмущений, вызванных источниками техногенного происхождения (работа мощного электрооборудования, приборов и других технических устройств) и источниками в виде локально проявляющихся природных процессов (прохождение атмосферных фронтов, ураганы, шквалы). Кроме того, выбирались периоды с низкой геомагнитной активностью.

Обработка и анализ временного хода E показали, что в периоды сильных землетрясений отчетливо регистрируются вариации электрического поля на фоне естественных суточных изменений. При этом наблюдаются три основных вида вызванных вариаций E : 1) периодические знакопеременные, 2) бухтообразные с уменьшением E и 3) бухтообразные с повышением E . Указанные вариации характеризуются максимальной величиной изменения E_* и длительностью T_* в случае бухтообразного вида, и амплитудой E и периодом T в случае, когда вариации имеют знакопеременный вид.

В качестве примера на рис. 1 приведены вариации E знакопеременного вида, зарегистрированные в период землетрясения 18.05.2018 г.¹ Данные рис. 1 показывают, что сопутствующий землетрясению эффект является достаточно слабым по сравнению с эффектами, вызванными,

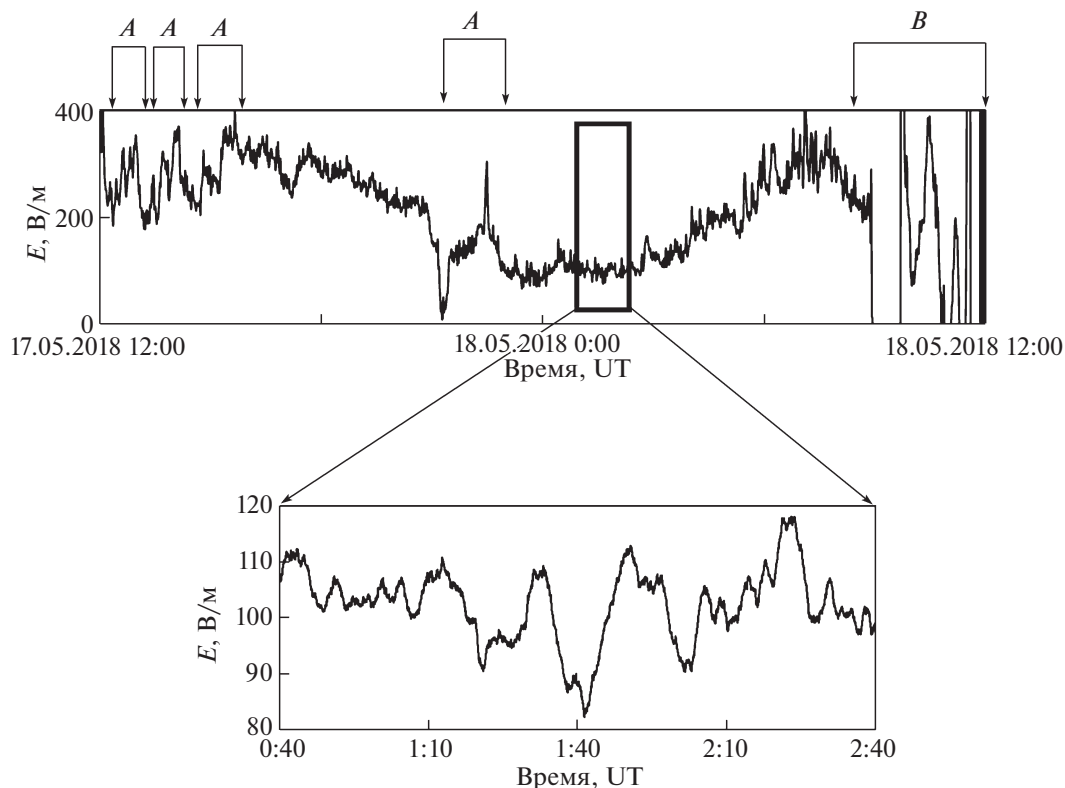


Рис. 1. Вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля в период с 12:00 17.05.2018 г. по 12:00 18.05.2018 г. В области рисунка отмечены вариации, обусловленные прохождением плотных кучевых облаков (A) и грозовой активностью (B). На врезке представлены вариации в период землетрясения, произошедшего на юге островов Кермадек.

например, прохождением плотных кучевых облаков (A) и грозовой ячейки (B). Тем не менее эффект от рассматриваемого землетрясения, как это видно на врезке, отчетливо проявляется. Отметим, что такой же, как на рис. 1, характер вариаций E зарегистрирован при событиях 24.05.2014 г., 14.08.2016 г. и 24.08.2018 г.

Несмотря на значительную разницу в расстояниях от пункта регистрации до очагов указанных событий (табл. 1), амплитуда вариаций E находится в узком интервале значений $\sim 30\text{--}70$ В/м. Длительность вариаций T_* $\sim 40\text{--}120$ мин. Период вариаций, хорошо выделяемый на фоне суточного хода, составляет $\sim 8\text{--}18$ мин.

На рис. 2 приведен пример отрицательной бухтообразной вариации E , сопутствующей землетрясению 06.09.2018 г. Слабый по сравнению с эффектами проходящих кучевых облаков (A) эффект от землетрясения хорошо проявляется на за-

писи (см. врезку). Подобные вариации E зарегистрированы также при событиях 28.01.2018 г., 25.02.2018 г., 17.08.2018 г., 05.09.2018 г. и 25.09.2018 г.

Пример положительной бухтообразной вариации E представлен на врезке рис. 3 (землетрясение 24.10.2017 г.²). Такого же типа вариации E сопутствуют событиям 17.07.2017 г., 18.08.2017 г., 26.03.2018 г., 02.05.2018 г., 07.07.2018 г., 19.08.2018 г., 09.09.2018 г. и 30.11.2018 г.

Результаты инструментальных наблюдений свидетельствуют о наличии реакции атмосферного тока I на сильные землетрясения на значительном расстоянии от очага события регистрации. В подавляющем большинстве случаев в период землетрясений наблюдается увеличение амплитудных вариаций I , причем вариации усредненной амплитуды атмосферного тока I_0 имеют в большинстве случаев знакопеременный вид (события 28.01.2018 г., 25.02.2018 г., 26.03.2018 г., 19.08.2018 г., 24.08.2018 г., 06.09.2018 г. и

¹ Как это видно на врезке рис. 1, повышенные вариации E регистрируются несколько ранее основного толчка, зафиксированного сейсмическими методами в $\sim 01:45$ UT, что связано с возбуждением электрических параметров атмосферы при интенсификации всех физико-механических процессов в среде на финишной стадии подготовки очага события.

² Суточный ход вариаций напряженности электрического поля демонстрирует утренний максимум (примерно через 2 ч после восхода Солнца) и вечерний минимум (примерно через 2 ч после заката Солнца), что характерно для вариаций в период “хорошей погоды” [12, 14].

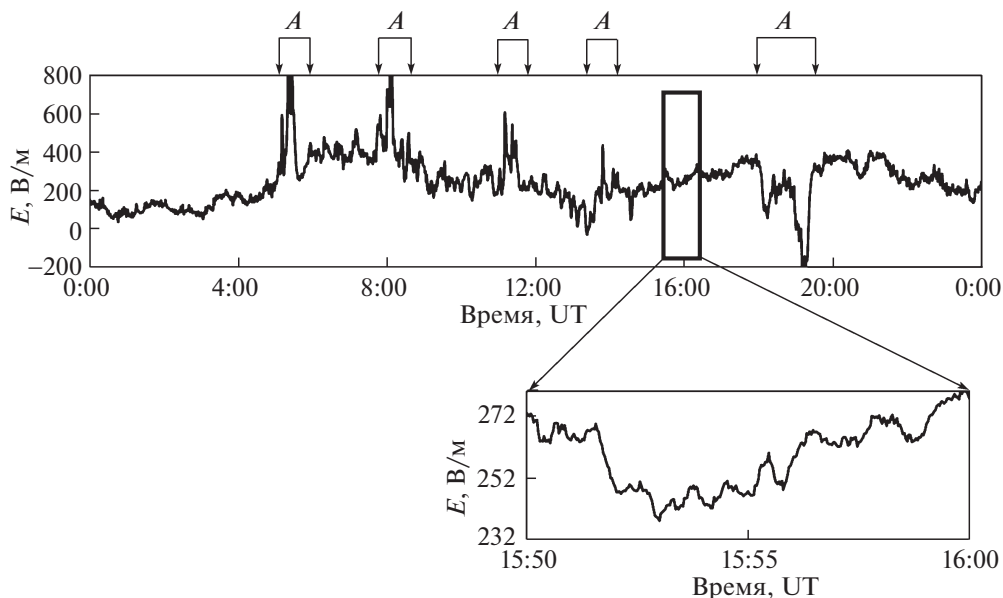


Рис. 2. Вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля 06.09.2018 г. В области рисунка отмечены периоды, в которые наблюдались вариации, обусловленные прохождением плотных кучевых облаков (A). На врезке представлены вариации в период землетрясения, произошедшего в 102 км от г. Сува (Фиджи).

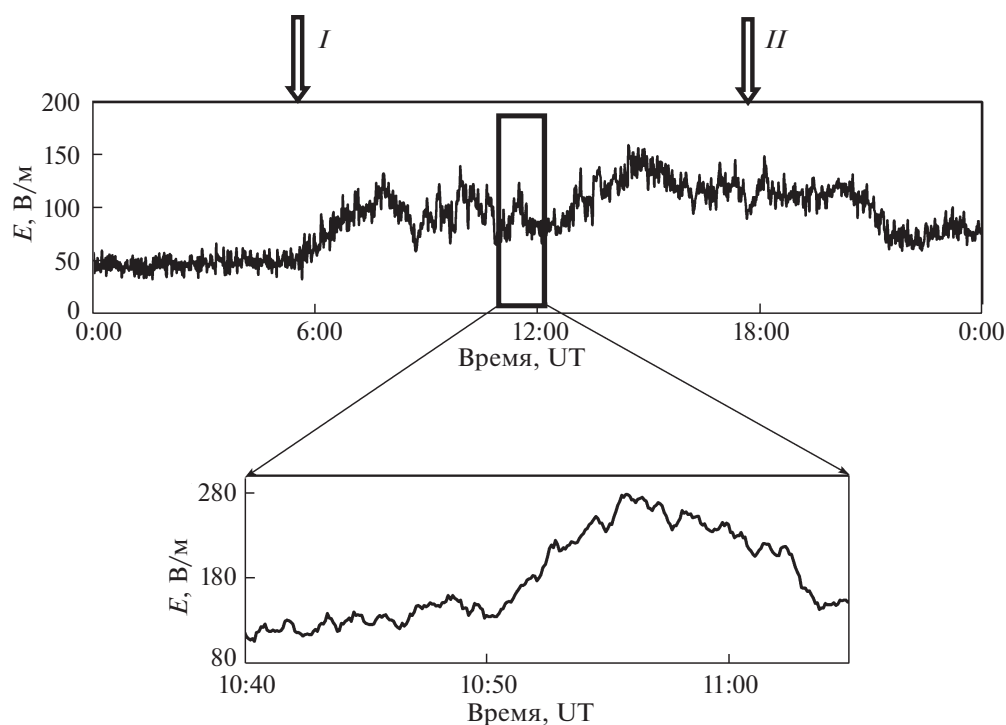


Рис. 3. Вариации вертикальной компоненты напряженности электрического поля 24.10.2017 г. В области рисунка отмечены изменения хода E в периоды восхода (I) и захода Солнца (II). На врезке представлены вариации в период землетрясения, произошедшего в 144 км севернее г. Палу (Индонезия).

25.09.2018 г.). Характерный пример вариаций I_0 подобного вида для события 28.01.2018 г. приведен на рис. 4. Слабый по сравнению с эффектами, вызванными снегопадом (C), эффект от зем-

трясения хорошо проявляется в вариациях усредненной амплитуды атмосферного тока I_0 (см. врезку). Здесь следует отметить, что выделение сигнала, сопровождающего конкретное сейсми-

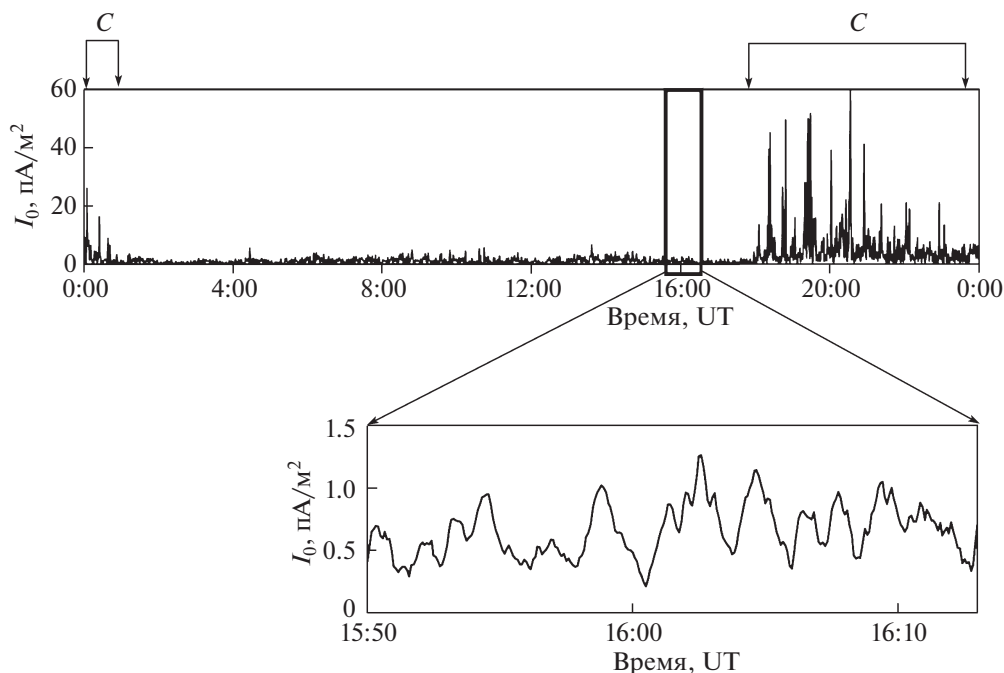


Рис. 4. Вариации усредненной амплитуды вертикального атмосферного тока 28.01.2018 г. В области рисунка отмечены периоды вариаций I_0 , вызванные осадками в виде снега (С). На врезке представлены вариации I_0 в период землетрясения, произошедшего на юго-западе Африки.

ческое событие, не всегда однозначно, поскольку в достаточно короткий временной интервал наблюдаются несколько событий. Так, например, перед рассмотренным выше событием 28.01.2018 г. наблюдалось еще одно землетрясение с магнитудой 4,2 (Афганистан), главные толчки которого были зарегистрированы в 15:54 UT. В записи вариаций атмосферного тока можно выделить аномалии, сопутствующие не только высокомагнитудному землетрясению ($M_w = 6.6$), но и предшествующему ему сейсмическому событию.

В отдельных случаях отклик атмосферного тока на сильные землетрясения представлен в виде возникновения вариаций I_0 импульсного типа (события 14.08.2018 г. и 17.08.2018 г.), либо увеличения I_0 (событие 02.05.2018 г.) или изменения периода естественных вариаций I_0 (событие 17.07.2018 г.).

Полученные данные свидетельствуют о том, что в периоды сильных землетрясений наблюдаются вариации электрических характеристик атмосферы, причем на значительных расстояниях от очага события. При этом характер этих вариаций в ряде случаев достаточно сложный.

Следует отметить, что механизм влияния сейсмического события на атмосферное электрическое поле при конкретных локальных метеорологических условиях в пункте регистрации до конца еще не ясен, что затрудняет физическое описание наблюдаемого эффекта в настоящее время.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при рассмотрении сильных землетрясений их проявление в вариациях электрического поля неодинаково. Аномалии вертикальной компоненты напряженности электрического поля проявляются либо в виде отрицательной или положительной бухты, либо в виде цуга колебаний с разной частотой. Землетрясения сопровождаются вариациями атмосферного тока в виде его увеличения, либо знакопеременных вариаций усредненной амплитуды. Следует отметить, что при всех рассмотренных в настоящей работе землетрясениях вариации параметров электрического поля, зарегистрированные в МНВ и ЦГМ, характеризуются сходной морфологией (совпадают по форме аномалий, их длительности и частично скачку значений параметров).

Представленные результаты дополняют соответствующую базу данных и могут представлять интерес при совершенствовании известных и разработке новых моделей влияния землетрясений на окружающую геофизическую среду и их верификации. С целью накопления статистического материала необходимо проводить дальнейшие исследования с привлечением данных регистрации электрического поля при более слабых землетрясениях и в других пунктах наблюдений.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. М.: Наука. 2008. 295 с.
2. Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э. Электрические и электромагнитные процессы в приземной атмосфере перед землетрясениями на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. 2006. Т. 46. № 6. С. 839–852.
3. Hayakawa M. Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes. Tokyo: TERRAPUB, 1999. 996 p.
4. Chavez O., Perez-Enriquez R., Cruz-Abeyro J.A., Millan-Almaraz J.R., Kotsarenko A., Rojas E. Detection of Electromagnetic Anomalies of Three Earthquakes in Mexico with an Improved Statistical Method // Nat. Hazards Earth Syst. 2011. V. 11. № 7. P. 2021–2027.
5. Johnston M.J.S. Review of Electric and Magnetic Fields Accompanying Seismic and Volcanic Activity // Surv. Geophys. 1997. V. 18. P. 441–475.
6. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестников. М.: Наука, 2003. 270 с.
7. Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6.III.1992, M=6.1 // ДАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980–982.
8. Kachakhidze N. Electrical Field Potential Gradient of Atmosphere as a Possible Precursor of Earthquakes // Bulletin of Georgian Academy of Sciences. 2000. V. 161. № 3. P. 32–43.
9. 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.
10. Спивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Аппаратура и методики для мониторинга геофизических полей мегаполиса и их применение в Центре геофизического мониторинга г. Москвы ИДГ РАН // Сейсмические приборы. 2016. Т. 52. № 2. С. 65–78.
11. Барышев В.И., Вааг Л.Л., Гаврилов Б.Г., Полтаев А.С. Датчик приземного вертикального тока атмосферы // Проблемы взаимодействующих геосфер. М.: ГЕОС, 2009. С. 358–364.
12. Адушкин В.В., Соловьев С.П., Спивак А.А. Электрические поля техногенных и природных процессов. М.: ГЕОС, 2018. 459 с.
13. Семенов К.А. Хорошая погода и элементы атмосферного электричества // Труды ГГО. Л.: Гидрометеоиздат. 1982. Вып. 455. С. 112–113.
14. Спивак А.А., Рябова С.А., Харламов В.А. Электрическое поле в приземной атмосфере московского мегаполиса // Геомагнетизм и аэрономия, 2019. Т. 59. № 4. С. 501–513.

REMOTE RESPONSE OF AN ELECTRIC FIELD AND ATMOSPHERIC CURRENT TO STRONG EARTHQUAKES

S. A. Riabova^{a,#} and A. A. Spivak^a

^a *Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: riabovasa@mail.ru*

Presented by Academician of the RAS V.V. Adushkin July 13, 2020

The vertical component of electric field strength and atmospheric current variations accompanying the strong earthquakes with magnitude more than 6 are analyzed on the basis of instrumental observations carried out at the Geophysical Observatory “Mikhnevo” and at the Center for Geophysical Monitoring in Moscow of IDG RAS. It is shown that the strong earthquakes cause alternating sign-time variations of the electric field or its bay-like variations of positive or negative sign at significant distances from the earthquake source. In the same time, earthquakes cause variations in atmospheric current in the form of an increase in it or alternating sign-time variations of the averaged amplitude. The present results supplement the corresponding database and may be of interest in improving the known and developing new models of the effect of earthquakes on the environment and their verification.

Keywords: earthquake, variations of electric field, atmospheric current, vertical component of electric field strength