

УДК 550.385

СЕРИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ТУРЦИИ 06.02.2023 г. И ВОЗМУЩЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

© 2023 г. Академик РАН В. В. Адушкин^{1,*}, А. А. Спивак^{1,**},
Ю. С. Рыбнов^{1,***}, А. В. Тихонова^{1,****}

Поступило 16.02.2023 г.
После доработки 17.02.2023 г.
Принято к публикации 17.02.2023 г.

Представлен анализ вариаций микробарического фона, магнитного и электрического поля в приземном слое атмосферы, сопутствующих сильным землетрясениям 06.02.2023 г. в Турции. Для анализа привлекались результаты инструментальных наблюдений, выполненных в Центре геофизического мониторинга Москвы и обсерватории “Михнево” ИДГ РАН, а также данные, полученные рядом магнитных обсерваторий сети INTERNAGNET. Показано, что землетрясения, помимо сейсмического эффекта, сопровождались вариациями магнитного и электрического полей, а также генерацией инфразвуковых волн, зарегистрированных на значительном расстоянии от источников.

Ключевые слова: землетрясение, инфразвук, магнитное поле, электрическое поле, вариация

DOI: 10.31857/S2686739723600327, **EDN:** UKVRGG

Сильные землетрясения являются ярким примером проявления природных сил. Динамические эффекты в очаговой зоне землетрясения, связанные с высвобождением накопленной энергии, резкими изменениями структуры, механических и электромагнитных свойств среды и другими сопутствующими землетрясению явлениями, оказывают значительное влияние на вариации геофизических полей, таких как электрическое, магнитное и микробарическое [1]. Изучение вызванных вариаций геофизических полей представляет значительный интерес не только с точки зрения всестороннего описания эффектов, сопровождающих сейсмические события, но и для понимания их внутренних механизмов и закономерностей их развития. При этом следует также отметить, что достаточно мощные вариации геофизических полей содержат весьма важную информацию, необходимую для разработки моделей их взаимодействия и преобразования, а в целом — для установления природы и механизмов межгеосферных взаимодействий [2].

Несмотря на имеющиеся исследования, связанные с установлением геофизических эффектов землетрясений¹ ([3–5] и др.), ощущается недостаток наблюдательного материала, необходимого для расширения соответствующей базы данных как основы для разработки теоретических и феноменологических моделей сильных сейсмических явлений.

В настоящем сообщении рассматриваются геофизические эффекты в виде микробарических вариаций, вариаций магнитного и электрического поля Земли в приземном слое атмосферы в период трех наиболее сильных сейсмических событий², произошедших 06.02.2023 г. в Турции (табл. 1) [6]. При этом первые два события с учетом близости времен главных толчков допустимо рассматривать в качестве двойного землетрясения.

В качестве исходных данных использовались результаты инструментальных наблюдений, выполненных в экспериментальных подразделениях ИДГ РАН: Геофизической обсерватории “Михнево” (МНВ, 54.96° с.ш.; 37.76° в.д.) и в Центре геофизического мониторинга Москвы (ЦГМ, 55.70° с.ш.; 37.57° в.д.) [7]. Регистрация вертикальной компоненты напряженности элект-

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

*E-mail: adushkin@idg.ras.ru

**E-mail: aaspivak100@gmail.com

***E-mail: rybnov.y@mail.ru

****E-mail: tikhonova@idg.ras.ru

¹ В основном предметом исследований являлись короткопериодные возмущения магнитного поля.

² С 00: 00 до 12: 00 UTC по данным USGS [6] произошло 4 землетрясения магнитудой >5.5 в окрестности события 1 радиусом ~30 км и 6 землетрясений в окрестности события 3 радиусом ~75 км.

Таблица 1. Характеристика землетрясений по данным из каталога USGS

№ п/п	Дата	Время (UTC)	Магнитуда	Географические координаты		Глубина, км
				Широта	Долгота	
1	06.02.2023	01:17:35	7.8	37.174° с.ш.	37.032° в.д.	17
2	”	01:28:15	6.7	37.127° с.ш.	36.943° в.д.	14
3	”	10:24:49	7.5	38.024° с.ш.	37.203° в.д.	10

Таблица 2. Данные по магнитным обсерваториям

Код	Принадлежность	GEO		R, км	B_x^* , нТл	
		Широта	Долгота		Соб. 1, 2	Соб. 3
SUA	Румыния	44.68° с.ш.	26.25° в.д.	~1230	~5	~1
PAG	Болгария	42.52° с.ш.	24.18° в.д.	~1240	~5	~4
GSK	Сербия	44.63° с.ш.	24.48° в.д.	~1590	~5	~1
MHV	Россия	54.96° с.ш.	37.77° в.д.	~1980	~6	~4
BEL	Польша	51.84° с.ш.	20.79° в.д.	~2070	~5	~4
HLP	Польша	54.60° с.ш.	18.81° в.д.	~2380	~8	~5
NUR	Финляндия	60.51° с.ш.	24.66° в.д.	~2740	~7	~7
LYC	Швеция	64.61° с.ш.	18.75° в.д.	~3280	~50	~8
SOD	Финляндия	67.37° с.ш.	26.63° в.д.	~3420	~80	~15
ABK	Швеция	68.36° с.ш.	18.82° в.д.	~3640	~70	~3
GAN	Мальдивы	–0.69° с.ш.	73.15° в.д.	~5610	~5	~1
SHE	С. Гелена	–15.96° с.ш.	354.25° в.д.	~7410	~4	~1
TDS	С. Гелена	–37.07° с.ш.	347.68° в.д.	~9690	~6	~3
GNG	Австралия	–31.35° с.ш.	115.71° в.д.	~11 170	~9	~5
VOS	Антарктика	–78.464° с.ш.	106.835° в.д.	~13620	~35	~30
SBA	Антарктика	–77.85° с.ш.	166.78° в.д.	~14930	~50	~25
MCQ	Австралия	–54.50° с.ш.	158.95° в.д.	~15290	~25	~10
EYR	Нов. Зеландия	–43.47° с.ш.	172.39° в.д.	~16210	~10	~2

Таблица 3. Индексы магнитной активности K (по данным MHV) и K_p (по данным International Service of Geomagnetic Indices (ISGI)) за 06.02.2023 г.

Индекс	Время (UTC)				
	0–3	3–6	6–9	9–12	12–15
K	3	2	2	3	2
K_p	3	3	3	3	3

трического поля E выполнялась измерителем напряженности электрического поля VOLTEK EFM-100 в диапазоне частот 0–10 Гц. Компоненты магнитной индукции B_x , B_y и B_z , ориентированные соответственно в направлении север–юг, восток–запад и вертикально вниз, регистрировались в MHV с использованием цифрового трехкомпонентного феррозондового магнетометра LEMI-018 с частотой дискретизации 1 Гц. При

анализе вызванных геомагнитных вариаций привлекались также данные ряда магнитных обсерваторий сети INTERMAGNET [8] (табл. 2).

Следует отметить, что период рассматриваемых землетрясений характеризовался спокойными метеорологическими условиями в пунктах регистрации, отсутствием значимых локальных возмущений атмосферного электрического поля, связанных с источниками природного и техногенного происхождения, а также спокойной геомагнитной обстановкой (табл. 3), что упростило выделение вызванных возмущений геофизических полей.

Сейсмический эффект. В качестве основного эффекта, сопутствующего землетрясениям, традиционно рассматривается сейсмический сигнал. В нашем случае приход сейсмических волн в ЦГМ от двойного землетрясения (1 и 2 из табл. 1) зафиксирован в ~ 01:22 UTC (рис. 1), причем на

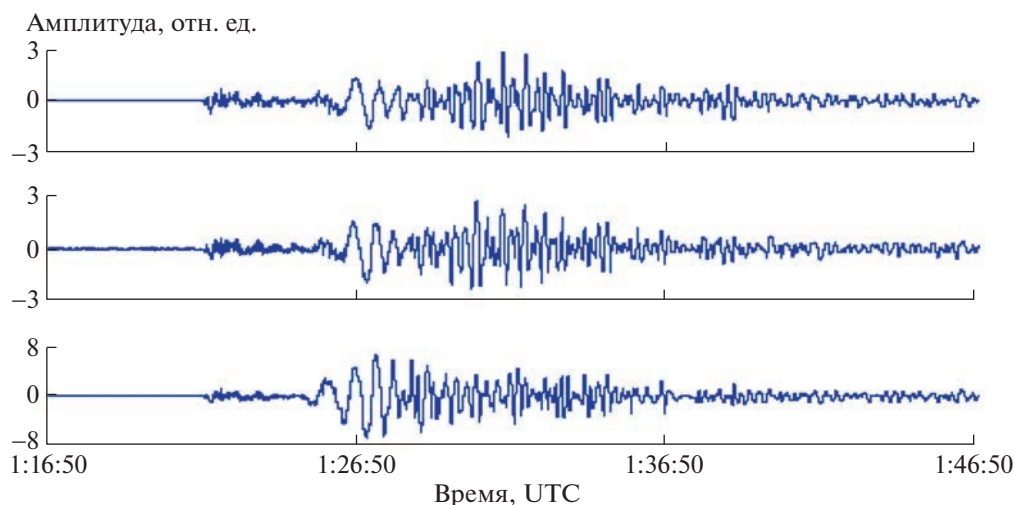


Рис. 1. Сейсмический сигнал, вызванный двойным землетрясением 06.02.2023 г. (Турция).

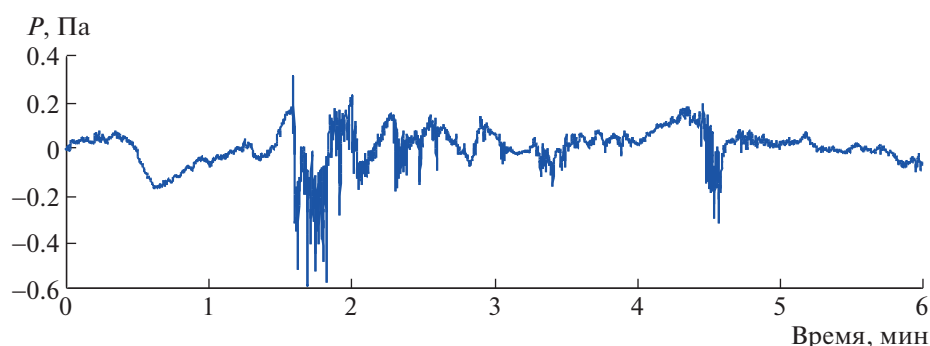


Рис. 2. Акустический сигнал в диапазоне частот 0.01–10 Гц, вызванный приходом сейсмических волн от двойного землетрясения 1 и 2 по данным ЦГМ (время прихода сигнала 01:25 UTC).

записях можно выделить приход групп поверхностных волн отдельно от первого и второго события.

Акустический эффект. Другим важным эффектом является акустическое возмущение, вызываемое в приземной атмосфере в результате вертикальных смещений земной поверхности ([9–11] и др.). В нашем случае акустический сигнал отчетливо проявился неоднократно в микробарических вариациях на значительном расстоянии от очагов рассматриваемых событий (~2060 км) в ЦГМ. В первом случае зарегистрированы акустические колебания в атмосфере в период прихода сейсмического сигнала. Характер акустического сигнала, вызванного сейсмическими волнами, демонстрируется на рис. 2. Аналогичным образом выглядит акустический сигнал, вызванный приходом сейсмических волн от землетрясения 3 из табл. 1.

В 03:28:11 UTC зарегистрирован инфразвуковой сигнал, распространяющийся по атмосфере-

ному волноводу. Форма этого сигнала, вызванного двойным землетрясением, приведена на рис. 3. Инфразвуковой сигнал от землетрясения 3 из табл. 1, распространяющийся по атмосферному волноводу, зарегистрирован в ЦГМ в ~12:11:58 UTC (рис. 4).

С учетом времен регистрации инфразвуковых сигналов и расстояний между очагами землетрясений и пунктом регистрации (ЦГМ) получаем: скорость распространения инфразвуковых составляла ~260–300 м/с, что соответствует диапазону скоростей распространения инфразвуковых волн, распространяющихся в атмосферном волноводу [12].

Магнитный эффект. Анализ данных, полученных при магнитных измерениях, свидетельствует о том, что рассматриваемые землетрясения сопровождались короткими вариациями геомагнитного поля сразу после главного толчка. На рис. 5 приведены примеры геомагнитных вариаций, вызванных двойным землетрясением, в

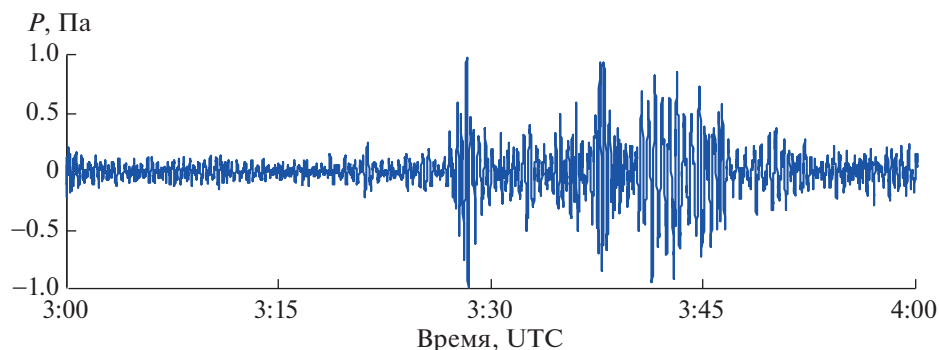


Рис. 3. Распространяющийся по волноводу инфразвуковой сигнал, вызванный двойным землетрясением 1 и 2 из табл. 1 (по данным ЦГМ).

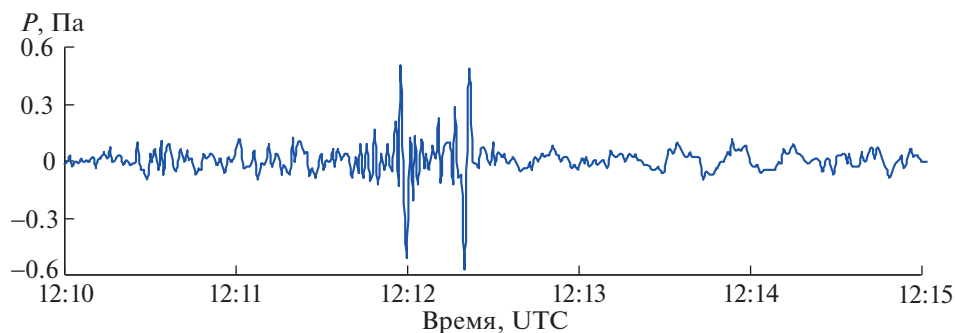


Рис. 4. Распространяющийся по волноводу инфразвуковой сигнал, вызванный землетрясением 3 из табл. 1 (по данным ЦГМ).

виде $B_x(t)$. Из рис. 5 следует, что характер вариаций представляет собой хорошо выраженную отрицательную бухту. Максимальные амплитуды вариаций компоненты B_x относительно тренда B_x^* приведены в табл. 2 (через R обозначено расстояние до очага землетрясения 1). Полученные данные показывают, что максимальная амплитуда вызванных событиями 1 и 2 геомагнитных вариаций составила $\sim 3\text{--}10$ нТл для среднеширотных обсерваторий и $\sim 25\text{--}80$ нТл для высокоширотных (табл. 2). Аналогичный характер имеют вариации магнитного поля, вызванные событием 3. Максимальные амплитуды вариаций относительно тренда для случая события 3 также приведены в табл. 2.

При этом особо следует отметить, что в случае двойного землетрясения отмечается высокая синхронность коротких магнитных возмущений в период после главных ударов (начало вызванных геомагнитных вариаций в широком диапазоне расстояний от ~ 1200 до $16\,000$ км отмечается в одно и то же время: $\sim 01:25$ UTC). Этот факт свидетельствует в данном случае о высокой вероятности наличия глобального возмущающего источника. С учетом времени запаздывания относительно главного удара события 1, сопоставимого по по-

рядку величины со временем пробега сейсмическим сигналом расстояния, равного размеру Земли, и длительности вызванных вариаций магнитного поля можно предполагать, что источником геомагнитных вариаций в данном случае является геодинамо, возмущенное сейсмическими волнами, которые распространялись вглубь Земли [13].

Электрический эффект. Результаты регистрации напряженности электрического поля в МНУ демонстрируют вариации E в период рассматриваемых событий. На рис. 6 приведены вариации вертикальной компоненты электрического поля относительно тренда E^* в периоды двойного землетрясения 1 и 2 (а) и события 3 (б). Действительно оба события вызвали выраженное изменение хода $E(t)$ амплитудой ~ 20 В/м.

Помимо вариаций в период землетрясений регистрируются вариации электрического поля в период прихода инфразвуковых сигналов в точку регистрации. В качестве примера на рис. 7 приведены вариации E^* , вызванные двойным землетрясением 1 и 2, в период прихода инфразвукового сигнала в ЦГМ.

Приведенные данные, по мнению авторов, дополняют существующие в настоящее время представления о геофизических последствиях силь-

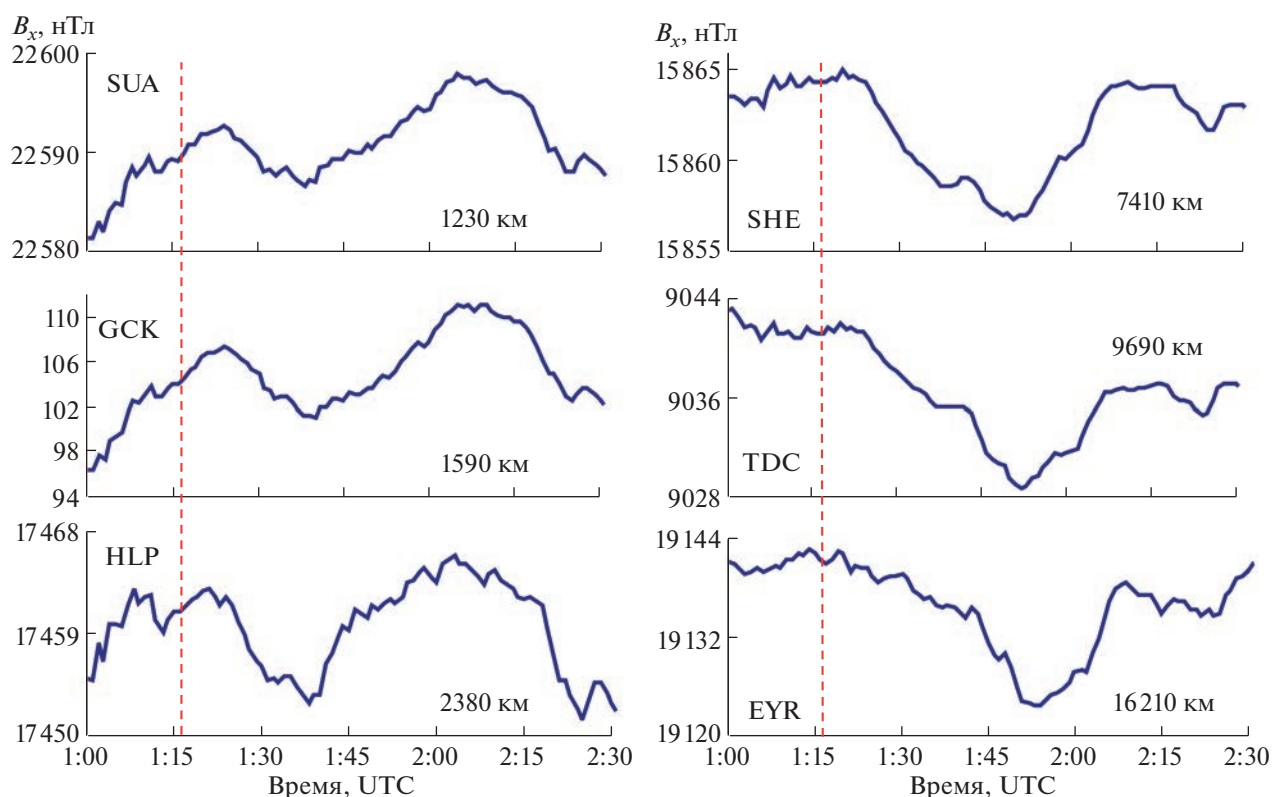


Рис. 5. Вариации горизонтальной компоненты магнитного поля B_x , вызванные двойным землетрясением 1 и 2 по данным МНВ (расстояние до очага события 1 обозначены в поле рисунков); вертикальным пунктиром обозначено время события 1.

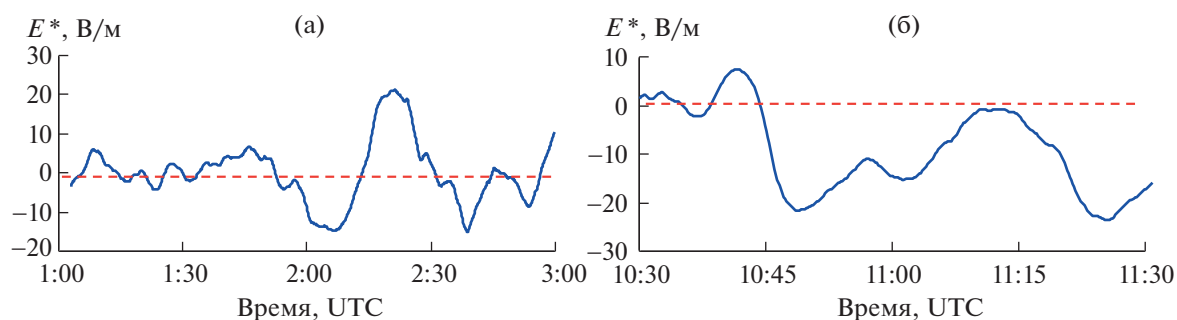


Рис. 6. Вариации вертикальной компоненты электрического поля относительно тренда E^* в периоды двойного землетрясения 1 и 2 (а) и события 3 (б) по данным МНВ.

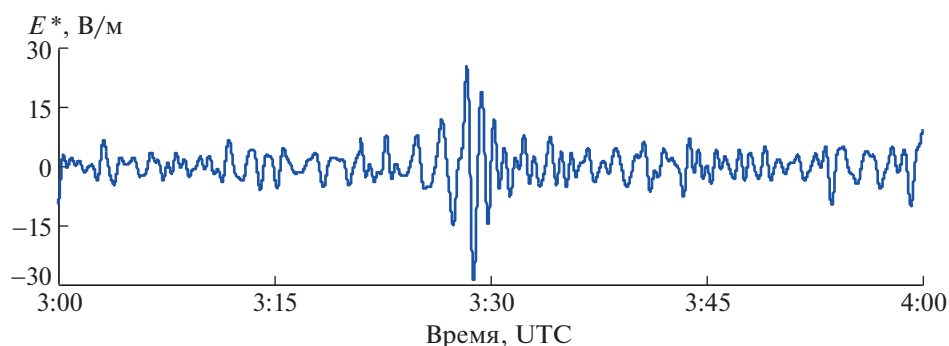


Рис. 7. Вариации вертикальной компоненты электрического поля относительно тренда E^* в период прихода в ЦГМ инфразвукового сигнала, вызванного двойным землетрясением.

ных землетрясений и окажутся полезными при разработке и верификации аналитических и численных моделей, всесторонне описывающих энергообменные процессы при сейсмических событиях, а также их влияние на внешние геосферы.

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. Воздействие экстремальных природных событий на геофизические поля в среде обитания // *Физика Земли*. 2021. № 5. С. 6–16.
2. Адушкин В.В., Спивак А.А. Физические поля в приповерхностной геофизике. М. ГЕОС. 2014. 335 с.
3. Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. М.: Наука. 2008. 295 с.
4. Черногор Л.Ф. геомагнитные возмущения, сопровождавшие Великое Японское землетрясение 11 марта 2011 г. // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2019. Т. 59. С. 69–82.
5. Hattori K. ULF Geomagnetic changes associated with large earthquakes // *ТАО*. 2004. Vol. 15. No 3. P. 329–360.
6. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
7. Спивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Рыбнов Ю.С., Соловьев С.П., Харламов В.А. Аппаратура и методика 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.
8. <https://www.intermagnet.org/index-eng.php>
9. Гармаш С.В., Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Швед Г.М. Возбуждение колебаний атмосферы сейсмогравитационными колебаниями Земли // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 1989. № 12. С. 1290–1299.
10. Голицын Г.С., Кляцкин В.И. Колебания в атмосфере, вызванные движением земной поверхности // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 1967. № 10. С. 10440–1052.
11. Cook R.K. Infrasound radiated during the Montana earthquake of 1959. August 18 // *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 1971. V. 26. P. 191–198.
12. Куличков С.Н., Авиллов К.В., Буш Г.А. и др. Об аномально быстрых инфразвуковых приходах на больших расстояниях от наземных взрывов // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2004. Т. 40. № 1. С. 3–12.
13. Адушкин В.В., Спивак А.А. Эффект влияния сильных землетрясений на геодинамику // *Доклады РАН. Наука о Земле*. 2023. Т. 509. № 4.

SERIES OF CATASTROPHIC EARTHQUAKES IN TURKEY 06.02.2023 AND PERTURBATION OF GEOPHYSICAL FIELDS

Academician of the RAS V. V. Adushkin^{a,#}, A. A. Spivak^{a,##}, Yu. S. Rybnov^{a,###}, and A. V. Tikhonova^{a,####}

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

[#]*E-mail: adushkin@idg.ras.ru*

^{##}*E-mail: aaspivak100@gmail.com*

^{###}*E-mail: rybnov.y@mail.ru*

^{####}*E-mail: tikhonova@idg.ras.ru*

An analysis of variations in the microbaric background, magnetic and electric fields in the surface layer of the atmosphere, accompanying strong earthquakes on February 6, 2023 in Turkey, is presented. The analysis involved the results of instrumental observations performed at the Center for Geophysical Monitoring of Moscow and the Mikhnevo observatory of the IDG RAS, as well as data obtained by a number of magnetic observatories of the INTERNAGNET network. It is shown that, in addition to the seismic effect, earthquakes were accompanied by variations in the magnetic and electric fields, as well as the generation of infrasonic waves recorded at a considerable distance from the sources.

Keywords: earthquake, infrasound, magnetic field, electric field, variation