

УДК 550.510.53+550.34

**ЗЕМЛЯТРУС У АТЛАСКІХ ГАРАХ 8 ВЕРАСНЯ 2023 Г.
І СПАДАРОЖНЫЯ ЯМУ ВАРЫЯЦЫІ КРЫТЫЧНАЙ
ЧАСТАТЫ F2 ПЛАСТА ІЁНАСФЕРЫ**

С. А. Рабава^{1,2)}

¹⁾*Федэральная дзяржаўная бюджэтная ўстанова навукі Інстытут дынамікі геасфер
імя акадэміка М. А. Садоўскага РАН, Ленінскі пр., 38, корп. 1,
119334, г. Масква, Расія, ryabovasa@mail.ru*

²⁾*Федэральная дзяржаўная бюджэтная ўстанова навукі Інстытут фізікі Зямлі
імя В. Ю. Шміта РАН, Вялікая Грузінская вуліца, 10, стар. 1,
123242, г. Масква, Расія*

Разглядаецца водгук іёнасферы на землятрус магнітудай 6,8–7,2, які адбыўся высока ў Атласкіх гарах недалёка ад гарналыжнага курорта Укаймедэн на поўдзень ад горада Марракеша ў Марока. Пры аналізе сейсмічнай службы выкарыстоўваліся дадзеныя Еўрапейска-Міжземнаморскага сейсмалагічнага цэнтра, глабальны каталог тэнзараў цэнтраід-момантаў і спадарожнікавыя дадзеныя. З мэтай аналізу іёнасфернага водгуку прыцягваліся вынікі вышынна-частотнага зандавання, атрыманыя ў абсерваторыі дэль-Эбрэ.

Ключавыя словы: землятрус; іёнасфернага водгуку; крытычная частата F2 пласта іёнасферы; вейвлет-аналіз.

**EARTHQUAKE IN THE ATLAS MOUNTAINS
ON SEPTEMBER 8, 2023 AND ACCOMPANYING VARIATIONS
IN THE CRITICAL FREQUENCY OF THE F2 LAYER
OF THE IONOSPHERE**

S. A. Riabova^{1,2)}

¹⁾*Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics of Russian Academy of Sciences,
Leninsky Ave., 38, building 1, 119334, Moscow, Russia, ryabovasa@mail.ru*

²⁾*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
B. Gruzinskaya St., 10, building 1, 123242, Moscow, Russia*

The response of the ionosphere to an earthquake of magnitude 6.8–7.2 that occurred high in the Atlas Mountains near the Oukaimeden ski resort south of the city of Marrakech in Morocco on September 8, 2023 is considered. The analysis of the seismic event used data from the US Geological Survey, the Moroccan Seismic Agency and the Euro-Mediterranean Seismological Center, a global catalog of centroid moment tensors and satellite data. In order to analyze the ionospheric response, the results of altitude-frequency sounding obtained at the Observatory del Ebre were used.

Keywords: earthquake; ionospheric response; critical frequency of the F2 layer of the ionosphere; wavelet analysis.

Землятруссы, якім спадарожнічае шэраг геафізічных эфектаў, такіх як дэфармацыя і разбурэнне горных парод, генерацыя сейсмічных хваль, варыяцыі атмасфернага электрычнага поля і г.д. [1–3], выклікае таксама іёнаферны водгук. Нягледзячы на наяўныя дадзеныя, недастаткова назіральнага матэрыялу, засноўваючыся на якім, можна адэкватна прадстаўляць складаную структуру іёнафернага эфекту землятрусаў, што неабходна для распрацоўкі канцэптуальных, тэарэтычных і феномена-лагічных мадэляў, якія апісваюць у поўным аб'ёме наступствы моцных сейсмічных з'яў [4]. У артыкуле разглядаецца водгук іёнаферы ў выглядзе варыяцый F2 пласта іёнаферы на землятрус у Атласкіх гарах 8 верасня 2023 г.

Землятрус адбыўся 8 верасня ў 23:11 па мясцовым часе (у 22:11 па сусветным часе). Эпіцэнтр землятруссу знаходзіўся прыкладна ў 73,4 км на паўднёвы захад ад горада Марракеш у рэгіёне Марракеш-Сафі ў Марока [5], недалёка ад гарналыжнага курорта Укаімедэн у Атласкіх гарах [6]. Па дадзеных Геалагічнай службы ЗША, сейсмічная падзея адбылася на глыбіні 19 км і мела момантную магнітуду 6,8 [7], у той час як сейсмічнае агенства Марока паведаміла аб глыбіні агменю 8 км і магнітудзе 7,2 [8]. У глабальным каталогу тэнзараў цэнтроід-момантаў прыведзена значэнне магнітуды 6,9 і глыбіні 23,08 км [9]. У Марока максімальная інтэнсіўнасць землятруссу па Меркалі склала IX (моцная) [10].

Наймацнейшы афтэршок меў магнітуду 5,1 і адбыўся праз 20 хвілін пасля асноўнага штуршка на адлегласці 21 км ад Марракеша-Сафі [11]. Землятрус адчуваўся ў Іспаніі, Партугаліі, Алжыры і інш. Як паведамляе Геалагічная служба ЗША, землятрус меў механізм агменю, які паказвае на ўтварэнне нахільна-надзвігавага разлому пад Высокім Атласам [6].

Пры даследаванні іёнафернага водгуку землятруссу ў Марракеш-Сафі выконвалася апрацоўка зыходных дадзеных у выглядзе іёнаграм вышынна-частотнага зандавання, атрыманых у абсерваторыі дэль-Эбрэ, размешчанай у 1344 км ад эпіцэнтра землятруссу ў Марока. Зандаванне на абсерваторыі выконвалася іонозондом DPS-4D.

З мэтай гарантыі правільнасці вызначэння крытычнай частаты F2-пласта іёнаферы, пры выкананні даследаванняў у працэсе апрацоўкі дадзеных кожная іёнаграма падвяргалася ручной апрацоўцы і інтэрпрэтацыі па вядомай метадыцы [12]. У выніку фармаваўся лічбавы шэраг дадзеных часовай варыяцыі крытычнай частаты F2-пласта іёнаферы з дыскрэтызацыяй 5 мін.

У якасці аднаго з асноўных метадаў даследавання геамагнітных варыяцый, быў абраны вейвлет-аналіз, які паказаў у прыватнасці сваю эфектыўнасць пры аналізе геамагнітных варыяцый [13, 14]. Вейвлет-аналіз дазваляе выявіць часавыя ўласцівасці сігналу, які вывучаецца, а таксама дазваляе атрымаць інфармацыю аб тым, у які момант часу з'явіліся тыя, ці іншыя кампаненты сігналу. У сапраўднай працы выкарыстоўвалася бесперапыннае вейвлет-пераўтварэнне, а ў якасці базіснага вейвлета выкарыстоўваўся вейвлет Морле. Прадстаўленне вынікаў вейвлет-пераўтварэнні аформлена ў выглядзе скалаграм (лакальны спектр энергіі) з улікам «краевых» эфектаў (конус уплыву) [15].

Перыяд разглядаемай падзеі характарызаваўся спакойным геамагнітным становішчам, што спрасціла вылучэнне выкліканых абурэнняў магнітнага поля. Апрацоўка і аналіз вынікаў вымярэнняў паказалі, што ўздзеянне на іёнасферу ажыццяўляецца з дапамогай сейсмічнай хвалі Рэлея і атмасфернай акустыка-гравітацыйнай хвалі, якія генеруюцца землятрусам.

Даследаванні выкананы ў рамках дзяржаўнага задання ИФЗ РАН і дзяржаўнага задання ИДГ РАН № 1220329000185-5 «Права працэсаў прыроднага і тэхнагеннага паходжання ў геафізічных палях».

Библиографические ссылки

1. Адушкин В. В., Рыбнов Ю. С., Рябова С. А., Спивак А. А., Тихонова А. В. Геофизические эффекты серии сильных землетрясений в Турции 06.02.2023 г. // Физика Земли. 2023. № 6. С. 142–152. doi:10.31857/S0002333723060017
2. Рябова С. А., Спивак А. А. Вариации электрических характеристик приземной атмосферы при сильных землетрясениях. Результаты наблюдений // Физика Земли. 2021. № 4. С. 120–132. doi: 10.31857/S0002333721040074
3. Рябова С. А., Шалимов С. Л. О геомагнитных вариациях, наблюдаемых на поверхности земли и приуроченных к сильным землетрясениям // Физика Земли. 2021. № 4. С. 30–45. doi: 10.31857/S0002333722040081
4. 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. doi: 10.31857/S0002333723060182
5. NOAA. Significant Earthquake Information, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/hazel/view/hazards/earthquake/event-more-info/10705> (дата обращения: 01.02.2024).
6. Major earthquake strikes Oukaïmedene, Morocco, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000kufc/executive> (дата обращения: 01.02.2024).
7. The National Institute of Geophysics issues a report on the intensity of the earthquake and its difference from one region to another [حول تقريراً يصدر للجيوفيزياء الوطني المعهد [اخرى الى منطقة من واختلافها شدة الزلزال (in Arabic). 2M. 9 September 2023, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://2m.ma/ar/news/-المعهد-الوطني-للجيوفيزياء-يصدر-تقريراً-زلزال-اليانها-حول-20230909-الزلزال-الي-بالمغرب-مناطق-الخطر-الزلزال-الي-بالمغرب> (дата обращения: 01.02.2024).

8. Global CMT Catalog Search, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.globalcmt.org/cgi-bin/globalcmt-cgi-bin/CMT5/form?itype=ynd&yr=2023&mo=9&day=8&oyr=2023&omo=9&oday=9&jyr=1976&jday=1&ojyr=1976&ojday=1&otype=nd&nday=1&lmw=6&umw=10&lms=0&ums=10&lmb=0&umb=10&llat=-90&ulat=90&llon=-180&ulon=180&lhd=0&uhd=1000<s=-9999&uts=9999&lpe1=0&upe1=90&lpe2=0&upe2=90&list=0> (дата обращения: 01.02.2024).
9. Powerful magnitude 6.8 earthquake rattles Morocco, with five believed dead, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aljazeera.com/news/2023/9/8/powerful-6-8-magnitude-earthquake-rattles-morocco> (дата обращения: 01.02.2024)
10. Loss PAGER: M 6.8, Al Haouz, Morocco, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://earthquake.usgs.gov/product/losspager/us7000kufc/us/1697773474042/onepager.pdf> (дата обращения: 01.02.2024).
11. Major mag. 6.8 Earthquake – Marrakesh-Safi, Morocco, on Friday, Sep. 8, 2023, at 11:11 pm (Casablanca time) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.volcanodiscovery.com/earthquakes/7867274/2023-09-08/22h10/magnitude7-Morocco.html> (дата обращения: 01.02.2024).
12. Руководство URSI по интерпретации и обработке ионограмм / Под ред. П. В. Медниковой. Москва : Наука, 1977.
13. *Riabova S. A.* Study of the multifractality of geomagnetic variations at the Belsk Observatory // *Doklady Earth Sciences*. 2022. Vol. 507. No. 2. P. 299–303. doi:10.1134/S1028334X22700489.
14. *Riabova S. A., Shalimov S. L.* Response of the lower and upper ionosphere after the eruption of Shiveluch volcano on April 10, 2023 // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2024. Vol. 64, No. 1. P. 94–101. doi:10.1134/S001679322360087X.
15. *Riabova S.* Application of wavelet analysis to the analysis of geomagnetic field variations // *J. of Physics Conf. Series*. 2018. Vol. 1141. doi:10.1088/1742-6596/1141/1/012146.