

УДК 551.510-535, 550.34

ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ В БАЛКАНСКОМ РЕГИОНЕ

И.А. Борисова

IONOSPHERIC DISTURBANCES CAUSED BY SEISMIC ACTIVITY IN THE BALKAN REGION

I.A. Borisova

По результатам анализа данных наклонного и вертикального радиозондирования выделены локальные возмущения в слоях E_s и F2, сопутствующие подготовке сейсмических событий в Балканском регионе. Сопоставлены корреляционные характеристики при сравнительном анализе данных вертикального и наклонного радиозондирования. Приведены оценки скорости распространения ионосферных возмущений.

In this work it is investigated data of oblique and vertical radio-sounding. There are marked local disturbances in the layers E_s and F2 associated with the preparation of seismic events в Балканском регионе. There are compared the correlation characteristics of a comparative analysis of data on the four ionospheric stations vertical sounding and oblique radio-sounding data. There are showed the rate of propagation of ionospheric disturbances.

Введение

Ионосферные явления, вызванные сейсмической активностью, исследуются уже более 30 лет. Наиболее ранние исследования по обнаружению ионосферных предвестников землетрясений и достаточно убедительные свидетельства ионосферных вариаций, ассоциированных с землетрясениями, представлены в работах [Pulinets, Boyarchuk, 2004; Гохберг, Шалимов, 2008]. Согласно этим исследованиям, сейсмоионосферные аномалии обычно появляются за несколько дней или часов до землетрясения.

Балканы являются активнейшим участком Средиземноморско-Азиатского сейсмического пояса. Особое место среди эпицентров Балканских землетрясений в Албании, Греции, Македонии занимает зона Вранча – область постоянных землетрясений в Карпатских горах Румынии. Зона Вранча представляет повышенную опасность для Румынии, Северной Болгарии, Молдовы и Украины. Сильные землетрясения магнитудой до 8 баллов происходят в этой зоне с периодичностью 30–40 лет. Последнее сильное землетрясение магнитудой 7.2 имело место в 1977 г. С учетом разрушительной силы землетрясений, исследование ионосферных возмущений, вызванных сейсмической активностью, как составной части комплекса предвестников землетрясений имеет большую актуальность.

В данной работе предпринята попытка определения признаков ионосферных возмущений, соответствующих слабым сейсмическим событиям магнитудой M=3÷5, на фоне регулярных вариаций ионосферы и оценки размеров ионосферных неоднородностей в зависимости от магнитуды землетрясения.

I. Условия проведения эксперимента

Эксперименты по исследованию волновых возмущений ионосферы, вызванных слабой сейсмической активностью, в Румынии и Греции проводились в 2009–2010 гг. В данной работе приводятся результаты исследований только для двух сейсмических событий.

По оценке Национального института физики Земли (Румыния) [<http://www.infp.ro>], магнитуда землетрясения в Румынии (45.58° N, 27.53° E) 2 марта 2009 г. составила M = 3.6 на глубине h = 15 км, 04:15:07 UT, а магнитуда землетрясения в Греции

(38.14° N, 23.15° E) 2 сентября 2010 г. M=4.4 на глубине h=5 км, 03:53:02 UT.

Для исследований использовались данные ДЧХ ионосферного ЛЧМ-канала Кипр–Бэлць и станций вертикального зондирования. ЛЧМ-передатчик на Кипре (35.1° N, 34.1° E) работал в диапазоне частот 5–30 МГц, скорость перестройки частоты составляла 150 кГц/с. Прием ЛЧМ-радиосигналов в г. Бэлць (47.75° N, 27.92° E) осуществлялся на горизонтальный ромб RG65/4–1 (h=18 м), ионограммы снимались с периодичностью 15 мин.

Для анализа дальности воздействия слабой сейсмической активности на слои E_s и F2 также использовались данные четырех станций вертикального зондирования. Координаты станций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Название станции	Код URSI	Географические координаты	
		Широта	Долгота
Афины (Греция)	AT138	38.00	23.50
Сан-Вито (Италия)	VT139	40.60	17.80
Прухонице (Чехия)	PQ052	50.00	14.60
Дарбес (Бельгия)	DB049	50.10	4.60

Согласно данным Рентгеновской лаборатории Солнца (ФИАН, Россия) [<http://www.tesis.lebedev.ru>], геомагнитная и солнечная обстановка в период исследования МПЧ слабовозмущенной ионосферы была спокойной.

II. Результаты и анализ

A. Экспериментальные данные по ионосферным возмущениям во время землетрясения, произошедшего 2 марта 2009 г. в Румынии.

Исследование ионосферных возмущений, вызванных землетрясением в Румынии 2 марта 2009 г., проводилось на основе данных ДЧХ ионосферного ЛЧМ-канала Кипр–Бэлць и трех станций вертикального зондирования: в Афинах, Сан-Вито и Прухонице. Расстояние от области отражения радиолуча (40.98° N, 31.88° E) до эпицентра землетрясения составило d=621 км при наклонном зондировании и

$d=906, 964$ и 1082 км для станций вертикального зондирования в Афинах, Сан-Вито и Прухониче соответственно.

На рис. 1 и 2 показано изменение МПЧ ионосферных слоев E_s и $F2$. Пунктирной линией показаны вариации МПЧ в спокойных условиях (28.02.2009 г.), штриховой линией – за день до землетрясения (1.03.2009 г.) и сплошной линией – в день землетрясения (2.03.2009 г.).

Показаны изменения критических частот по данным наклонного ЛЧМ-зондирования (рис. 1, а и 2, а), а также по данным станций вертикального зондирования в Афинах (рис. 1, б и 2, б), Сан-Вито (рис. 1, в и 2, в), Прухониче (рис. 1, г и 2, г).

Б. Экспериментальные данные по ионосферным возмущениям во время землетрясения, произошедшего 2 сентября 2010 г. в Греции.

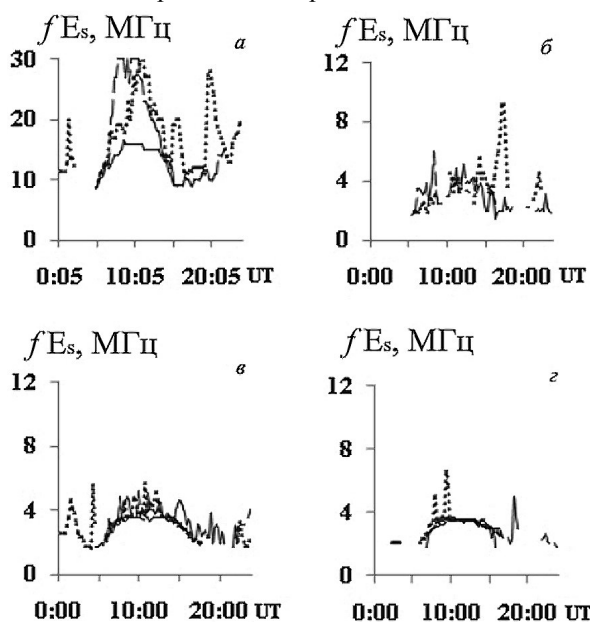


Рис. 1. Вариации МПЧ слоя E_s в спокойных условиях, за день до землетрясения и в день землетрясения в Румынии.

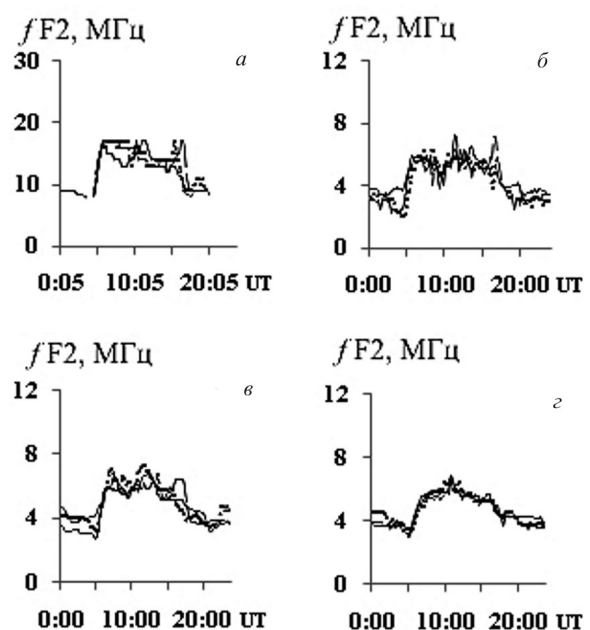


Рис. 2. Вариации МПЧ слоя $F2$ в спокойных условиях, за день до землетрясения и в день землетрясения в Румынии.

Ионосферные возмущения от землетрясения в Греции исследовались по ионосферным данным диагностики ионосферного ЛЧМ-канала Кипр–Бэлць и трех станции вертикального зондирования: в Сан-Вито, Прухониче и Дарбесе. Расстояние от области отражения радиолуча ($40.98^\circ N, 31.88^\circ E$) до эпицентра землетрясения составило $d=535$ км при наклонном зондировании и $d=812, 1483$ и 1980 км для станций вертикального зондирования в Сан-Вито, Прухониче и Дарбесе соответственно.

На рис. 3 и 4 показано изменение МПЧ ионосферных слоев E_s и $F2$. Пунктирной линией показаны вариации МПЧ в спокойных условиях (31.08.2010 г.), штриховой линией – за день до землетрясения (01.09.2010 г.) и сплошной линией – в день землетрясения (02.09.2010 г.).

Показаны изменения критических частот слоев E_s и $F2$ по данным наклонного ЛЧМ-зондирования

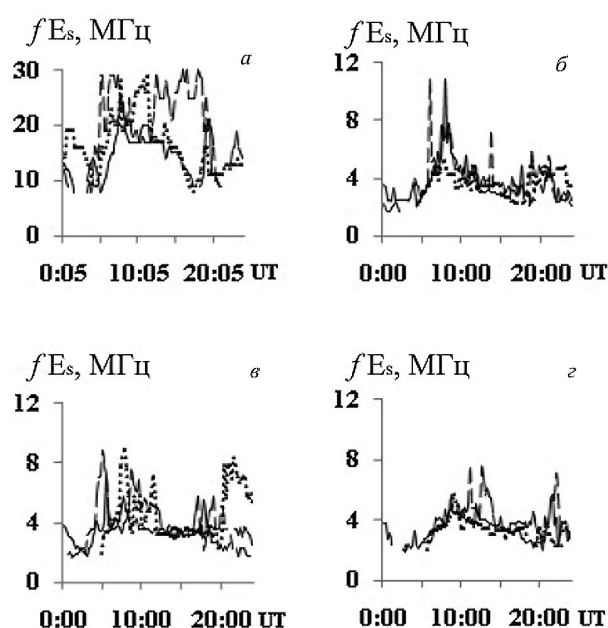


Рис. 3. Вариации МПЧ слоя E_s в спокойных условиях, за день до землетрясения и в день землетрясения в Греции.

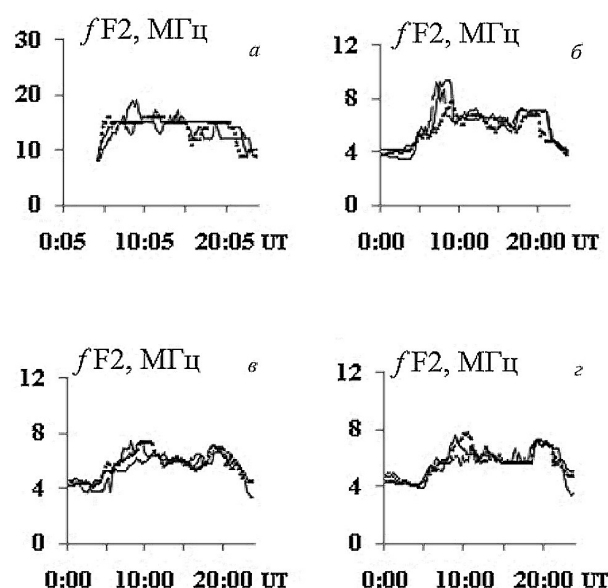


Рис. 4. Вариации МПЧ слоя $F2$ в спокойных условиях, за день до землетрясения и в день землетрясения в Греции.

Таблица 2

№г	Наименование метода исследования	Коэффициент корреляции за день до землетрясения, %		Коэффициент корреляции в день землетрясения, %		Скорость распространения АГВ, м/с		Расстояние, км
		слой E _s	слой F2	слой E _s	слой F2	слой E _s	слой F2	
Землетрясение 2 марта 2009 г. в Румынии								
1	ЛЧМ-трасса Кипр–Бэлць	28.18	61.50	55.33	68.16	172	207	621
2	Афины	56.10	64.41	69.72	72.38	167	201	906
3	Сан-Вито	80.32	82.38	77.61	86.47	153	153	964
4	Прухониче	99.21	90.88	81.38	96.06	133	92	1082
Землетрясение 2 сентября 2010 г. в Греции								
1	ЛЧМ-трасса Кипр–Бэлць	15.04	57.54	43.58	59.80	240	405	535
2	Сан-Вито	40.25	69.76	47.35	66.67	237	322	812
3	Прухониче	57.07	65.80	54.25	79.26	204	301	1483
4	Дарбес	68.25	85.52	59.32	81.97	163	273	1980

(рис. 3, а и 4, а), а также по данным станций вертикального зондирования в Сан-Вито (рис. 3, б и 4, б), Прухониче (рис. 3, в и 4, в), Дарбесе (рис. 3, г и 4, г).

В. Анализ исследования ионосферных волновых возмущений, вызванных сейсмической активностью.

Анализ рисунков 1, 2 и 3, 4 показывает, что сейсмическая активность больше влияет на изменение МПЧ слоя E_s, чем МПЧ слоя F2. В табл. 2 показаны результаты расчета коэффициента корреляции [Пустыльник, 1968] МПЧ слоев E_s и F2 за день до землетрясения и в день землетрясения по отношению к спокойному состоянию ионосферы, а также скорость распространения акустико-гравитационных волн (АГВ).

Расчеты коэффициента корреляции показывают, что при увеличении расстояния от эпицентра землетрясения волновые возмущения ионосферы умень-

шаются. Радиус дальности волновых возмущений, вызванных сейсмической активностью магнитудой M=3.6, составляет порядка 1100 км, а магнитудой M=4.4 – более 2000 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гохберг М.Б., Шалимов С.Л. Воздействие землетрясений и взрывов на ионосферу. Наука, 2008. 295 с.
 Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. Наука, 1968. 288 с.
 Pulinets S., Boyarchuk K. Ionospheric Precursors of Earthquakes. Springer, 2004. 323 p.

Бэлцкий государственный университет им. А.Руссо, г. Бэлць,