

СЕЙСМОИОНОСФЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В F2-СЛОЕ ВО ВРЕМЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Ю.К. Калинин, Н.П. Сергеенко

SEISMIC-IONOSPHERIC EFFECTS IN F2-LAYER OF AN IONOSPHERE IN TIME OF HELIOGEOPHYSICAL DISTURBANCES.

Yu.K. Kalinin, N.P. Sergeenko

Исследовались свойства перемещающихся ионосферных возмущений электронной концентрации (горизонтальные размеры 1–3 тыс. км, превышение над фоном 15–30 %), образующихся в слое F2 за 10–15 ч до катастрофических землетрясений в спокойных и возмущенных условиях. Неоднородности движутся горизонтально на расстояния свыше 10000 км с околосвуковой скоростью по траекториям, ориентированным примерно по дуге большого круга, проходящего через соответствующий эпицентр. Информативность проводимого исследования обуславливалась пространственно-временными различиями динамики ионосферы, характерной для возмущенных условий, и динамики сейсмогенных квазидетерминированных макромасштабных ионосферных неоднородностей, устойчивых по форме и скорости движения, но со случайными моментами возникновения

We studied properties of traveling ionospheric disturbances of the electron density (horizontal dimensions are 1–3 thousand km, excess over the background is 15–30 %) that were formed in the F2-layer 10–15 hours prior to disastrous earthquakes in quiet and disturbed conditions. Inhomogeneities move horizontally with transonic speed at over 10000 km in the trajectories oriented approximately along the great-circle arc passing through the corresponding epicenter. The self-descriptiveness of the investigation depended on spatial-temporal differences of the ionosphere dynamics typical of disturbed conditions and the dynamics of seismogenic quasideterministic macroscale ionospheric inhomogeneities, which are stable in form and velocity of travel and have random instants of onset.

Введение

Происхождение перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) может быть связано как с эндогенными, так и экзогенными причинами. Это дает предпосылки для использования ионосферных наблюдений для диагностики и прогноза различных процессов, в том числе и крупных землетрясений. Вместе с тем имеются и серьезные трудности, связанные с построением оценок как на фоне флуктуаций ото дня ко дню, так и во время гелиогеофизических возмущений. В условиях ионосферных бурь и суббурь в слое F2 могут возникать возмущения электронной концентрации, соизмеримые по характерным размерам и контрастности с сейсмогенными ПИВ, но с совершенно другим характером временных и пространственных изменений.

Исследования последних лет показали, что за 10–15 ч до главного толчка над эпицентром катастрофических землетрясений возникают неоднородности повышенной электронной концентрации с горизонтальными размерами 1–3 тыс. км, перемещающиеся примерно со звуковой скоростью на расстояния до 10–15 тыс. км в области главного максимума ионосферы [1, 2]. Ниже приведены примеры возникновения сейсмогенных ПИВ в спокойных и возмущенных условиях.

Анализ данных

Главным источником информации об ионосферных неоднородностях в данной работе являются массивы значений относительной вариации δf_0F2 мировой сети ионосферных станций вертикального зондирования [3]. Массивы $\{\delta f_0F2\}$ используются в практике краткосрочного ионосферного прогнозирования для обнаружения и численной характеристики возмущенности слоя F2 ионосферы. Для описания геомаг-

нитной обстановки использовались K_p , D_{st} , и AE - индексы.

Спокойные условия. На рис. 1, а представлены временные ряды δf_0F2 , относящиеся к случаю Аляскинского землетрясения 9 марта 1985 г. ($\varphi=66.6$ N; $\lambda=150.5$ W; $t_0=14:08$ UT; $M=6.2$). Вертикальной линией показан момент землетрясения, наклонной – предполагаемое направление движения сейсмогенного ПИВ. Появившееся перед землетрясением в области над эпицентром возмущение распространяется через Азию в Индийский океан до АИС La Reunion. Также возмущения наблюдались на АИС в Северной Америке. Заблаговременность возникновения сигналов оценивается как $\Delta t = -13$ ч. Амплитуды сигналов $\delta f_0F2 > 20$ %. Положительные импульсы (рис. 1, б) появились на спокойном геомагнитном фоне: $K_p \leq 2$, $AE < 200$ нТл, D_{st} не опускалось ниже -20 нТл.

На рис. 1, в приведен фрагмент карты мира в проекции Меркатора, на котором затемненными кружками показано местоположение ионосферных станций ВЗ, где наблюдалось положительное возмущение. Незаштрихованные кружки показывают расположения других АИС, где наблюдались отрицательные возмущения, или вообще не было никаких возмущений, или по каким-то причинам в рассматриваемый период измерений не проводилось. Штриховой кривой приведена траектория движения этого возмущения, которая совпадает с участком дуги большого круга и направлена в обе стороны от эпицентра.

Возмущенные условия. На рис. 2 представлены данные для Индонезийского землетрясения, которое произошло 1 марта 1985 г. ($\varphi=1.4$ S; $\lambda=119.6$ E; $t_0=17:11$ UT; $M=6.4$). На рис. 2, а, б приведены точные зависимости $\delta f_0F2(t)$ для различных станций, расположенных в Азии, Европе, Австралии,

Северной Америке, а на рис. 2, ε – вариации геомагнитных индексов для этих суток. Последние свидетельствуют, что 01.03.1985 наблюдалось умеренное геомагнитное возмущение ($D_{stmax} \sim -50$ нТл, $K_pmax=6$). На фоне бури также произошла суббуря в ~ 5 ч UT ($AE_{max} \sim 800$ нТл). Данные $\delta f_0F_2(t)$, приведенные на панели 3, б, свидетельствуют о двухфазном ионосферном возмущении в слое F2, происходящем на фоне начавшейся геомагнитной бури. Все графики содержат отчетливые положительные возмущения с амплитудой 15–30 % и длительностью 5–7 ч, начав-

шиеся в дневные часы по местному времени (5 ч UT) в первые сутки геомагнитного возмущения. Примерно в 18 ч LT на всех станциях в той или иной степени возмущение перешло в отрицательную фазу. Очевидно, что положительную фазу ионосферной бури, наблюдающуюся практически одновременно на АИС, расположенных на различных широтах и долготах, никак нельзя отождествить с сейсмопредвестником.

Однако на панели 2, а представлены данные $\delta f_0F_2(t)$, свидетельствующие о появлении за 13 ч до начала землетрясения положительных возмущений

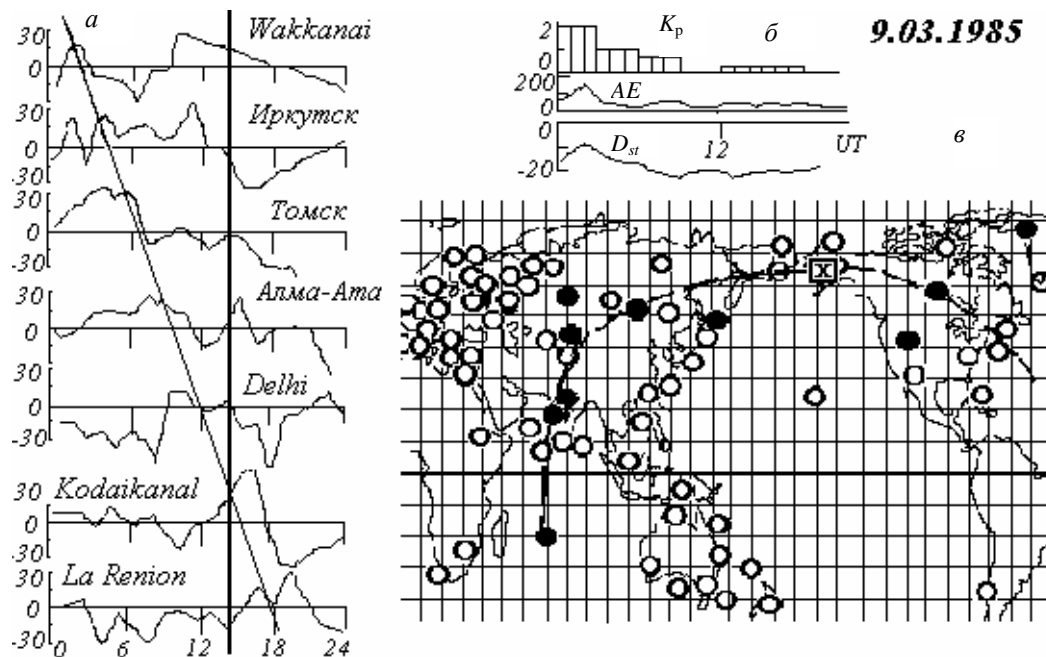


Рис. 1. Данные для Аляскинского землетрясения 9 марта 1985 г.: а – зависимости $\delta f_0F_2(t)$, б – вариации геомагнитных индексов, в – карта мира в проекции Меркатора с указанием места землетрясения, штриховая линия – возможное направление движения этих неоднородностей.

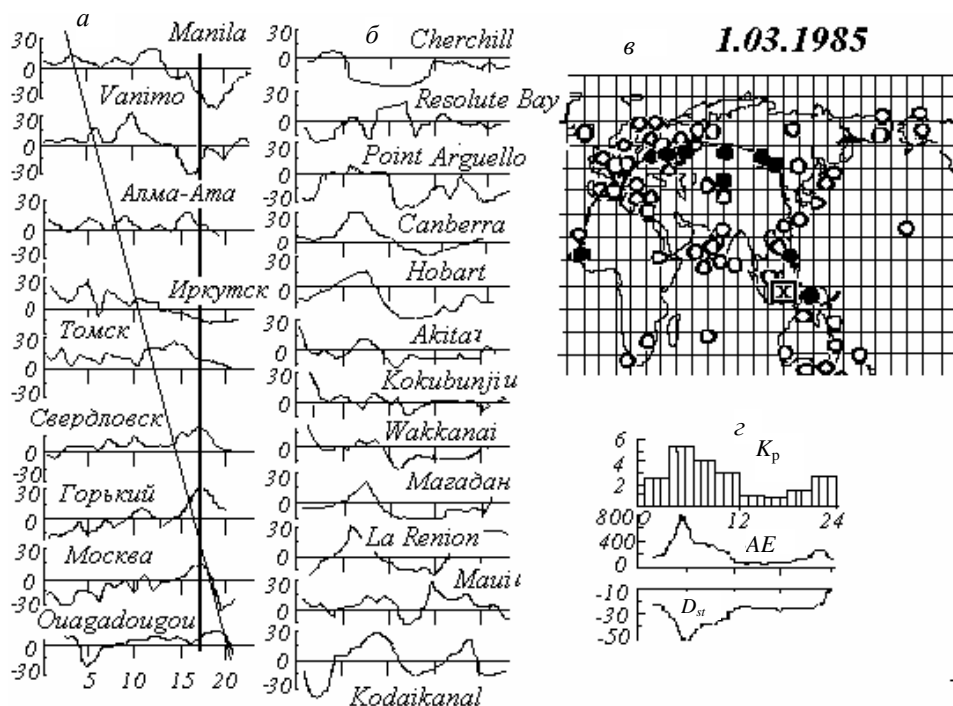


Рис. 2. Данные для Индонезийского землетрясения 01 марта 1985 г.: а, б – зависимости $\delta f_0F_2(t)$, в – карта мира в проекции Меркатора с указанием места землетрясения, штриховая линия – возможное направление движения этих неоднородностей, ε – вариации геомагнитных индексов

на станциях Manila и Vanimo, расположенных в регионе предстоящего землетрясения, и их последующем перемещении через станции азиатской и европейской частей до североафриканской станции Ouagadougou. Временные задержки их появления на соответствующих станциях указывают на кажущуюся скорость перемещения ~1000 км/ч, длительность импульсов составляет 3–4 ч. На фрагменте карты мира (рис. 2, в) приведена штриховая линия, указывающая направление движения ПИВ. В отличие от спокойных условий, движение от эпицентра было однонаправленным.

Отметим, что представленная на панели 2, а цепочка импульсов δf_0F2 наблюдалась как в дневное, так и в вечернее местное время, в то время как положительная фаза двухфазного ионосферного возмущения обычно происходит только в дневное время (06–18 ч LT) и длится не менее 7–8 ч [4].

Обсуждение

В работе приведены примеры селекции сейсмогенных ПИВ в спокойных и возмущенных условиях. Для опознания динамики ПИВ требуется обработка данных по большим территориям (сотни тысяч квадратных километров).

Сформулируем основные различия между сейсмогенными ПИВ повышенной концентрации и эффектами гелиогеофизических возмущений в слое F2:

- Электронная концентрация во время ионосферных суббурь увеличивается в результате действия зональных и меридиональных электрических полей и под действием ВГВ днем после предварительного уменьшения. После возникновения неоднородности обычно распространяются от высоких широт к низким в меридиональном направлении [5], в то время как траектории движения сейсмогенных ПИВ совпадают с дугами большого круга.

Ионосферные эффекты ВГВ во время суббурь происходят с задержкой ~1 ч, эффекты электрических полей – практически без задержки по отношению к АЕ-индексу. Появление сейсмогенных неоднородностей не связано с изменениями АЕ-индекса.

- Ионосферная буря представляет собой непрерывный процесс, длящийся от нескольких часов до

нескольких суток, вариации параметров носят глобальный характер. При отсутствии всплесков АЕ положительные импульсы в записях $\delta f_0F2(t)$ на фоне отрицательной фазы бури могут относиться к сейсмогенным ПИВ. Положительные возмущения электронной концентрации могут наблюдаться во время ионосферных бурь на ранних стадиях в дневные часы (положительная фаза), а также на переходных и низких широтах. В отличие от них для сейсмогенных ПИВ не существует ни временных, ни пространственных ограничений.

- В заключение отметим, что компоновки данных типа тех, что представлены на рис. 1, 2, возможны далеко не для всех землетрясений. Одна из причин этого состоит в реальных свойствах сети ионосферных станций – неравномерном пространственном расположении и, естественно, только на суше. Другие трудности связаны с обнаружением сейсмогенных ПИВ на фоне неоднородностей другого генезиса в ионосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин Ю.К., Сергеев Н.П. Макромасштабные движущиеся неоднородности, возникающие в ионосфере за несколько часов до сильных землетрясений // Докл. РАН. 2002. Т. 387, №1. С. 105–107.
2. Kalinin U.K., Romanchuk A.A., Sergeenko N.P., Shubin V.N. The large-scale isolated disturbances dynamics in the main peak of electronic concentration of ionosphere // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2003. V. 65, Iss. 11–13. P. 1175–1177.
3. Гайворонская Т.В., Сергеев Н.П., Юдович Л.А. Отклонения критических частот области F от медианных значений // Ионосферные возмущения и их влияние на радиосвязь. М.: Наука, 1971. С. 55–73.
4. Зевакина Р.А., Сергеев Н.П., Жулина Е.М., Носова Г.Н. Руководство по краткосрочному прогнозированию ионосферы / Материалы МЦД Б-2. 1990. 71 с.
5. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 527 с.

*Институт прикладной геофизики Росгидромета, Москва
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова, Троицк*