

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

## **РАДИОТЕХНИКА**

**Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник**

**ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК  
«ПРОБЛЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ»**

Основан в 1965 г.

**ВЫПУСК 128**

Харків  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки

2002

УДК 537.86+550.388.2

А. М. ГОКОВ, канд. физ.-мат. наук, С. И. МАРТЫНЕНКО, канд. физ.-мат. наук,  
В. Т. РОЗУМЕНКО, канд. физ.-мат. наук, О. Ф. ТЫРНОВ, канд. физ.-мат. наук

### КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ УДАЛЕННЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ, И МОЩНЫЕ МЕЗОСФЕРНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

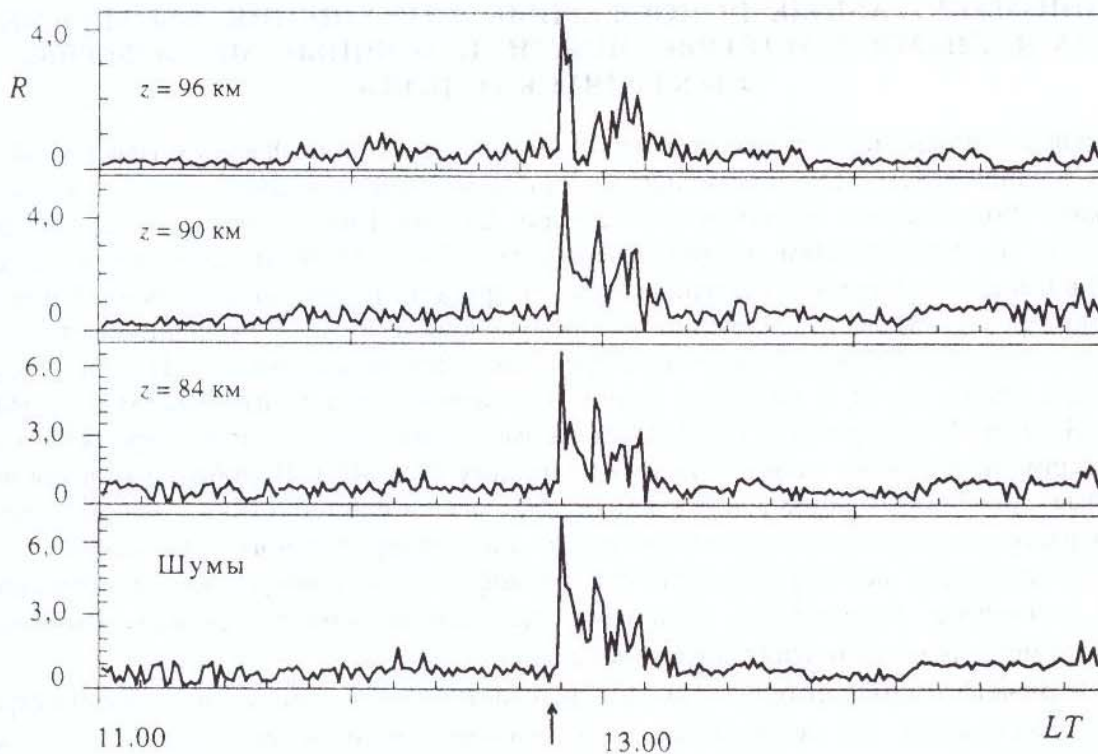
Впервые одновременное развитие крупномасштабных ионосферных возмущений, вызванных мощной сейсмической активностью на протяжении нескольких суток до начала и во время катастрофического землетрясения в Чили 22 мая 1960 г., было экспериментально установлено по регистрациям радиоизлучения на частоте 18 МГц сетью триометрических станций в Северной Америке, удаленных друг от друга на тысячи километров [1]. В частности, было зарегистрировано скоррелированное с сейсмическими возмущениями увеличение амплитуды сигналов, которое почти вдвое превышало фоновое излучение. Подобный эффект наблюдался также перед и во время мощного землетрясения (магнитуда  $M = 7,2$ ) вблизи г. Кобе (Япония) 17 января 1995 г. [2]. Здесь на расстоянии 77 км от эпицентра зафиксированы две серии «всплесков» радиоизлучения на частоте 22,2 МГц. Подобного типа сейсмоионосферные явления, существенно влияющие на характеристики высокочастотных радиосигналов, до настоящего времени не нашли удовлетворительного объяснения.

Ниже приводены некоторые результаты радиофизических исследований возмущений в нижней ионосфере, вызываемых мощными удаленными землетрясениями. Рассмотрены возможные механизмы развития таких возмущений.

**Экспериментальные результаты.** Для диагностики возмущений нижней ионосферы на больших расстояниях (до нескольких тысяч километров и более) от районов сильных землетрясений в наших исследованиях использовались измерения характеристик частично отраженных (ЧО) радиосигналов с высот  $z \approx 60 \dots 85$  км и шумов на частотах  $f = 2 \dots 3,5$  МГц с длительностью зондирующих импульсов 25 мкс.

Для примера на рисунке показаны изменения во времени величины  $R = A_{\text{ЧО}}^2 / A_{\text{ш}}^2$  для ЧО-сигналов на различных высотах и шумов. Здесь  $A_{\text{ЧО}}^2$ ,  $A_{\text{ш}}^2$  – усредненные на последовательных интервалах в 1 мин интенсивности обыкновенной и необыкновенной компонент ЧО-сигналов. Данные получены в районе г. Харькова в радиофизической обсерватории Харьковского национального университета во время удаленного приблизительно на 11 000 км землетрясения 20 марта 1995 г. в 12.48.54 LT (LT – местное время) на западе Новой Гвинеи ( $3,37^\circ \text{ S } 135,18^\circ \text{ E}$ , магнитуда  $M = 5,7$ , глубина 33 км, момент землетрясения на рисунке обозначен стрелкой).

Малое характерное время развития возмущений (меньшее нескольких секунд) может свидетельствовать о том, что изменения характеристик ЧО-сигналов вызываются соответствующими изменениями температуры и эффективной частоты соударений электронов в D-области ионосферы. Подобие высотно-временных зависимостей  $R$  показывает, что основное ионосферное возмущение было локализовано ниже высоты  $z = 84$  км (к сожалению, в условиях данного эксперимента надежно выделить ЧО-сигналы с высот, меньших 84 км, не удалось вследствие их малой интенсивности по сравнению с интенсивностью шумов). В общем же хорошо видно, что удаленное землетрясение привело к резкому всплеску  $R$ , что может быть следствием уменьшения интегрального поглощения сигналов и шумов на высотах, меньших 84 км.



**Тропосферно-мезосферная электрическая цепь.** В 70-х гг. на мезосферных высотах были обнаружены собственные мощные мезосферные электрические поля [3 – 5]. Это открыло новые возможности для объяснения механизмов электродинамического взаимодействия между тропосферой, мезосферой и ионосферой. Они основаны на представлении мезосферы в качестве активного элемента глобальной атмосферной электрической цепи. Для анализа электродинамических тропосферно-ионосферных связей использовалась модель тропосферно-мезосферной электрической цепи со следующими элементами: локальный (или крупномасштабный) мощный источник мезосферного тока с плотностью тока  $j_m \approx 10^{-9} \dots 10^{-8} \text{ А/м}^2$  [6; 7], вызывающий возмущения температуры и эффективной частоты соударений электронов до порядка по сравнению с общепринятыми фоновыми значениями [6 – 9]; локальное приземное (или тропосферно-стратосферное) сопротивление  $R_t$ ; локальное мезосферное сопротивление нагрузки  $R_m$  для мезосферного источника; внешнее сопротивление глобального слоя атмосферы между поверхностью Земли и нижней границей ионосферы  $R_a \approx 200 \text{ Ом}$ . В невозмущенных атмосферных условиях плотность электрического тока разрядки глобального конденсатора (т.е. плотность тока «ясной» погоды [10])  $j_a \approx 10^{-12} \text{ А/м}^2$  и  $j_m \gg j_a$ , поэтому при наличии  $j_m$  величиной  $j_a$  можно пренебрегать. В невозмущенных условиях  $R_t \gg R_m \gg R_a$  и поэтому общее сопротивление нагрузки мезосферного источника тока  $R_i = R_m R_t / (R_m + R_t) \approx R_m$ , т.е. электрические тропосферно-мезосферные связи практически не проявляются.

В возмущенных условиях сопротивление  $R_t$  может уменьшаться на порядок и более, например, вследствие увеличения поверхностного уровня радиации в районах мощных землетрясений, а также при авариях на АЭС с выбросами в атмосферу радиоактивных

веществ [5; 6]. В результате соотношение между величинами  $R_i$  и  $R_m$  изменяется, что сказывается и на уровне  $R_i$ . В частности, при уменьшении  $R_i$  до двух порядков  $R_i \ll R_m$ , а  $R_i \approx R_j$ . Тогда разность потенциалов  $U$  в мезосфере, которая определяет напряженность  $E$  мощного мезосферного электрического поля, становится зависимой от  $R_i$ . Уменьшение же  $R$  и  $R_i$  приводит к соответствующему уменьшению  $E$  и, как следствие, к снижению температуры электронов  $T_e$  в мезосфере под действием повышения проводимости тропосферы (вплоть до общепринятых невозмущенных значений). Таким образом, присутствие мощных мезосферных электрических полей приводит к формированию новых дополнительных электродинамических тропосферно-мезосферных связей в возмущенных условиях.

**Возмущения параметров нижней ионосферы.** Для оценки влияния уменьшения напряженности  $E$  мезосферного электрического поля на параметры нижней ионосферы нами использовалась хорошо известная система уравнений баланса для температуры электронов  $T_e$ , концентрации электронов  $N$  и концентрации положительных ионов  $N^+$  в слоисто-неоднородной слабоионизированной плазме, дополненная условием квазинейтральности [9]. Исходные значения  $T_e$  в мезосфере при наличии мощных электрических полей и в отсутствие тропосферных возмущений проводимости рассчитывались на основании решения указанной системы для квазистационарного случая ( $E = 1 \dots 10$  В/м, высоты  $z = 60 \dots 75$  км в дневных условиях). Результаты численного моделирования для сильно возмущенных тропосферных условий (т.е.  $R_i \ll R_m$ ) показали, что, например, вблизи высоты  $z = 60$  км при понижении напряженности мезосферного электрического поля на  $\Delta E_1 = 1$  В/м и  $\Delta E_2 = 10$  В/м величины  $T_e$  понижаются в 2,3 и 12 раз соответственно. Это вызывает уменьшение эффективной частоты соударений электронов  $\nu_e$  в 2 и 8 раз, а также повышение концентрации электронов  $N$  в 1,1 раза (при  $\Delta E_1 = 1$  В/м) и уменьшение  $N$  в 2 раза (при  $\Delta E_2 = 10$  В/м). В результате увеличивается низкочастотная электронная проводимость мезосферной плазмы, что приводит к понижению высот фиксированных уровней ионосферной низкочастотной проводимости приблизительно на  $\Delta z_1 \leq 5$  км и  $\Delta z_2 \leq 10$  км соответственно. Численные расчеты показывают, что определяющую роль тут играет результирующее уменьшение эффективной частоты соударений электронов  $\nu_e$ . Подобный эффект «понижения» нижней границы ионосферы был экспериментально зарегистрирован, например, по измерениям характеристик ОНЧ-сигналов, распространяющихся над районами АЭС во время аварий с выбросами в атмосферу радиоактивных веществ [11; 12].

**Выводы.** Таким образом, обнаружение на мезосферных высотах мощных электрических полей [3 – 7] позволяет по-новому объяснить электродинамические тропосферно-мезосферно-ионосферные связи. Например, при наличии над областью повышенной сейсмической активности таких полей возможна реализация следующего механизма. Значительное (на один-два порядка) возрастание тропосферной проводимости над сейсмоактивным регионом посредством тропосферно-мезосферных электрических связей приводит к падению напряженности мощного мезосферного электрического поля. Это вызывает быстрое (с характерным временем, меньшим 1 мс) релаксационное снижение температуры  $T_e$  и эффективной частоты соударений электронов  $\nu_e$ , а также соответствующее изменение проводимости мезосферы. Именно последний эффект и приводит к быстрому изменению условий распространения радиоволн в нижней ионосфере над сейсмоактивным регионом.

Отметим, что значительное изменение электрического потенциала в мезосфере над районом удаленного землетрясения может вызывать изменение разности мезосферных потенциалов между районом землетрясения и районом наблюдения, что эквивалентно изменению напряженности мезосферного электрического поля над районом наблюдения. Поэтому естественно ожидать развития возмущений мезосферной плазмы и над районом наблюдения.

При явлениях, подобных отраженным на рисунке, крупномасштабная разность мезосферных потенциалов в результате действия удаленного возмущения будет уменьшаться, что должно приводить к уменьшению величин  $T_e$ ,  $\nu_e$  и интегрального поглощения ЧО-сигналов на высотах, меньших 84 км.

Работа выполнена в Харьковском национальном университете при поддержке Украинского научно-технологического центра (грант № 1773).

**Список литературы:** 1. Warwick J.W. Radio emission associated with rock fracture: Possible application to great Chilean earthquake of May 22, 1960 / J.W. Warwick, C. Stoker, T.R. Mayer // *J. Geophys. Research*. 1982. Vol. 87, N B4. P. 2851–2859. 2. Maeda K. Decametric radiation at the time of the Hyogo-ken Nanbu earthquake near Kobe in 1995 / K. Maeda, N. Tokimasa // *Geophys. Research Letters*. 1996. Vol. 23, N 18. P. 2433–2436. 3. Брагин Ю.А. Прямые измерения вертикального электрического поля атмосферы до 80 км / Ю.А. Брагин, А.А. Кочеев, А.А. Тютин // *Косм. исслед.* 1974. Т. 12, вып. 2. С. 306–308. 4. Goldberg R.A. Middle atmospheric electrodynamics: status and future // *J. Atmospheric Terrestrial Physics*. 1984. Vol. 46, N 11. P. 1083–1101. 5. Goldberg R.A. Middle atmospheric electrodynamics during MAP // *Advances Space Research*. 1990. Vol. 10, N 10. P. 209–217. 6. Mesospheric electric field measurements with a partial reflection radar / S.I. Martynenko, V.T. Rozumenko, A.M. Tsymbal et al. // *J. Atmospheric Electricity*. 1999. Vol. 19, N 2. P. 81–86. 7. Martynenko S.I. New possibilities for mesospheric electricity diagnostics / S.I. Martynenko, V.T. Rozumenko, O.F. Tyrnov // *Advances Space Research*. 2001. Vol. 27, N 6–7. P. 1127–1132. 8. Гоков А.М. Изменения частоты соударений электронов и электрические поля в нижней ионосфере / А.М. Гоков, С.И. Мартыненко // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1997. Т. 37, № 2. С. 76–80. 9. Martynenko S.I. Atmospheric electric field and disturbances of the lower ionosphere parameters // *J. Atmospheric Electricity*. 1999. Vol. 19, N 1. P. 1–9. 10. Bering E.A. The global electric circuit / E.A. Bering, A.A. Few, J.R. Benbrook // *Physics Today*. 1998. Oct. P. 24–30. 11. Martynenko S.I. Ionospheric electric-field influence on the parameters of VLF signals connected with nuclear accidents and earthquakes / S.I. Martynenko, I.M. Fuks, R.S. Shubova // *J. Atmospheric Electricity*. 1996. Vol. 16, N 3. P. 259–269. 12. Fuks I.M. Lower ionosphere response to conductivity variations of the near-earth atmosphere / I.M. Fuks, R.S. Shubova, S.I. Martynenko // *J. Atmospheric Solar-Terrestrial Physics*. 1997. Vol. 59, N 9. P. 961–965.

Харьковский национальный университет

Поступила в редколлегию 20.06.2002