

рррр

124/2

93

ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА УКРАИНЫ  
(ГНТБ УКРАИНЫ)

СПРАВКА  
О ДЕПОНИРОВАНИИ  
НАУЧНОЙ РАБОТЫ

Выдана настоящая гр. Толову Н. М. и др.  
в том, что в справочно-информационном фонде  
ГНТБ Украины депонирована его научная работа

Жемчужини металевих досліджень сферич-  
них виміщених серед широкій області  
А монософери методом електричних струме-  
нів. В сб. Намильские радиофизические  
исследования естественной монософе-  
ры в Харьковский университете.

24.05.93, № 1005-4.93.

Библиографическое описание настоящей научной  
работы опубликовано в библиографическом указате-  
ле "Депонированные научные работы",  
199\_\_\_, № \_\_\_\_\_, б/о \_\_\_\_\_.

В соответствии с Инструкцией о порядке депо-  
нирования научных работ по естественным, техни-  
ческим и общественным наукам, авторы депонирован-  
ных научных работ сохраняют права, вытекающие из  
законодательства об авторском праве, но не могут  
претендовать на выплату гонорара. Депонированные  
научные работы приравниваются к опубликованным  
печатным изданиям.

Зам. директора ГНТБ Украины

Л.М.Котенко





19

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Комплексные радиофизические исследования среднеширотной  
ионосферы в Харьковском университете

УДК 550.388.2

А.М. Гоков, А.И. Гритчин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ  
ВОЗМУЩЕНИЙ СРЕДНЕШИРОТНОЙ ОБЛАСТИ D ИОНОСФЕРЫ  
МЕТОДОМ ЧАСТИЧНЫХ ОТРАЖЕНИЙ

Введение. Для развития теоретических и экспериментальных исследований физических процессов в нижней ионосфере Земли и ионосферно - магнитосферных связей, изучения и прогнозирования распространения радиоволн различных диапазонов, решения вопросов метеорологии необходимо создание надежной динамической модели нижней ионосферы. При этом особенно важно изучение пространственно-временной структуры изменений параметров D - области ионосферы под действием различных источников возмущений как естественного, так и искусственного характера. Наиболее важным является исследование реакции D -области на естественные возмущения (мощные землетрясения, вулканы, сильные грозы, солнечные вспышки, магнитные бури, солнечный терминатор).

Влияние удаленных землетрясений исследовалось в работах [1-3].

Реакция D -области на прохождение солнечного терминатора изучалась в [4-7].

Воздействие солнечных вспышек и магнитных бурь сравнительно широко исследовано в книге [8], а также в ряде работ (см., например, [9-11]).

Влияние грозовой активности на параметры D -области исследуется также в ряде работ (см., например, [12-14]).



Наименее изучено влияние процессов в атмосфере и стратосфере (ураганы, шквалы, стратосферные потепления, циклоны и т.д.) (см., например, обзоры [15, 16], отдельные работы [17-19]).

Исследования влияния естественных возмущений на состояние D-области ионосферы еще далеки от своего завершения, результаты работ [1-19] (а также других работ, не вошедших в этот список) дают, в основном, предварительную качественную картину. Для практического моделирования необходимо проведение целенаправленных исследований, накопление экспериментальных данных.

Данная работа представляет собой развитие исследований влияния естественных возмущений на D-область, выполненных в Харьковском госуниверситете [1-3, 10-11] по измерениям методом частичных отражений (ЧО) в средних широтах. Дополнены и обобщены результаты исследования влияния сильных удаленных землетрясений на параметры D-области ионосферы, характеристики ЧО радиосигналов и шумов. Обсуждаются некоторые новые аспекты влияния солнечных вспышек и магнитных бурь.

Экспериментальная техника и методика исследований. Исследования влияния некоторых естественных возмущений на параметры D-области ионосферы выполнены на основании ретроспективного анализа банка данных, полученных в ХГУ методом ЧО. Измерения ЧО сигналов и шумов выполнены на аппаратуре [20] в СШ вблизи г. Харькова ( $\varphi \approx 49,5^\circ N$ ,  $\lambda \approx 36,3^\circ E$ ). Основные параметры комплекса следующие: рабочие частоты  $f = 2-4$  МГц, длительность зондирующих импульсов  $\tau_u = 25$  мкс, частота повторения  $F = 1-10$  Гц. Регистрация амплитуд ЧО сигналов обыкновенной "о" и необыкновенной "н" поляризаций  $A_{o,n}$  велась на перфоленту и магнитную ленту (раздельно регистрировались магнитоионные компоненты "о" и "н" поляризаций) с 15 высотных уровней, начиная с 45 или 60 км через 3 км. Примерно 10% регистраций выполнены на кинолентку. Измерения  $A_{o,n}(h,t)$  ( $t$  - время,  $h$  - высота над поверхностью Земли) и радиозумов (амплитуд  $A_{o,n}^n$ ) выполнены в период 1983-1992 гг. в различные времена года как при фиксированных зенитных углах Солнца  $\chi$  ( $\chi = 75^\circ, 78^\circ, 60^\circ$ ) в течение нескольких месяцев в году, так и суточными циклами (непрерывно или через 30-40 минут).



Вычисление высотных профилей плотности электронов  $N(h)$  проведено по методике дифференциального поглощения [21] (длительность регистраций 40 сигналов при этом составляла 10-20 минут).

Влияние удаленных землетрясений. Всего анализу подверглись около 50 регистраций  $A_{0,H}(h,t)$  и  $A_{0,H}^n(t)$ , выполненных в периоды землетрясений разной интенсивности, происшедших на различных удалениях от места наблюдения ( $\mathcal{R} \leq (1-15) \cdot 10^3$  км). Подтверждены (на большем статистическом материале) эффекты землетрясений в D-области ионосферы [1-3]: при землетрясениях на суше на глубине  $h_3 < 50$  км с энергией  $E \approx 10^{12}$  Дж (магнитуда по шкале Рихтера  $M > 5$ ) в момент землетрясения и примерно в течение 1-2 минут после него отмечается увеличение (всплеск)  $A_{0,H}^n$  в несколько раз; после землетрясения с различной временной задержкой отмечаются квазигармонические изменения  $A_{0,H}^n(t)$  и  $A_{0,H}^{cn}(h,t)$  (смесь 40 сигнала и шума).

Установлено, что при землетрясениях с  $E < 10^{11}$  Дж указанные эффекты отсутствуют при любых удалениях от места наблюдения  $\mathcal{R} > 800$  км (при  $\mathcal{R} < 800$  км эксперименты не проводились). С целью определения порога (для  $\mathcal{R} \leq 10^3$  км) рассмотрено влияние на параметры 40 сигналов и шумов более 25 землетрясений с  $E > 10^{11}$  Дж. Устойчивая реакция D-области прослеживается при  $E \approx 10^{12}$  Дж и глубине землетрясения  $h_3 < 50$  км. При удалениях  $\mathcal{R} \approx (3-10) \cdot 10^3$  км сравнительно устойчиво указанные эффекты отмечаются при  $E \approx 10^{13}$  Дж и  $h_3 < 50$  км.

Анализ экспериментальных данных позволил уточнить по сравнению с [1-3] параметры возмущений, возникающих в D-области ионосферы после сильных землетрясений. Они приведены в таблице I. Отметим, что чаще всего регистрируются возмущения с  $V \sim 10^2$  км  $s^{-1}$  и  $V \leq 5-6$  км  $s^{-1}$ ; при  $\mathcal{R} \leq 10^3$  км - с  $V \leq 3-4$  км  $s^{-1}$ . Классификация возможных типов волн, переносящих возмущения в атмосфере и ионосфере выработана на основании обзора литературы и эффектов землетрясений в более высоколежащих слоях E и F ионосферы.

Для ряда сеансов измерений проведена спектральная обработка массивов  $A_{0,H}(h,t)$  и  $A_{0,H}^n(t)$ , полученных до, в период и после землетрясений ( $\pm 40$  минут) с помощью быстрого преобразования Фурье. Анализ спектров показал, что в момент землетрясения происходило заметное увеличение амплитуд состав-



лящих на частотах  $\sim (1-8) \cdot 10^{-3}$  Гц с максимальным эффектом для  $f \sim 3 \cdot 10^{-3}$  Гц.

Приведенные данные могут быть использованы при составлении радиофизического портрета сейсмо-ионосферных процессов.

Влияние солнечных вспышек и магнитных бурь. Влияние солнечных вспышек исследовано нами на примере внезапных ионосферных возмущений (ВИВ). Проанализированы изменения  $A_{0,H}(h,t)$ ,  $A_{0,H}^{c+n}(h,t)$  (а также их статистических характеристик) и параметров  $D$ -области во время  $\tau$  солнечных вспышек (отдельно события ВИВ длительностью как  $\tau \leq 30$  минут, так и  $\tau > 30$  минут). Анализ  $A_{0,H}(h,t)$  и  $A_{0,H}^{c+n}(h,t)$  показал, что во время коротких ВИВ ( $\tau \leq 30$  минут) и примерно в течение 10-20 минут после него наблюдаются квазигармонические затухающие изменения  $A_{0,H}(h,t)$  и  $A_{0,H}^{c+n}(h,t)$ . В результате спектральной обработки массивов  $A_{0,H}(h,t)$  и  $A_{0,H}^{c+n}(h,t)$  (длительность выборок до, во время и после ВИВ составляла 30 мин.) получено, что во время ВИВ в  $D$ -области генерируются или усиливаются волновые возмущения (ВВ) с периодами  $T \approx 5$  минут, которые затухают в течение примерно 20-25 минут. При  $\tau > 30$  минут ВВ выражены меньше или не отмечаются вообще. Возможной причиной такого поведения сигналов, частично отраженных от неоднородностей  $D$ -области может быть генерация (или усиление) акустико-гравитационных волн (АГВ) в результате резкого увеличения интенсивности рентгеновского излучения во время ВИВ. Отметим, что подобные результаты получены в [22] по регистрациям геомагнитного поля во время ВИВ.

Интересным оказалось поведение радиощумов во время ВИВ:  $k = \overline{A^2_n} / \overline{A^2_0} > 1$  (черта сверху означает усреднение), в то время как до события ВИВ и после него  $k \leq 1$ .

Как и в [22], в наших измерениях отмечено заметное (в 1,5-4 раза) увеличение  $N$  на высотах  $h = 65-85$  км во время ВИВ. Профили  $N(h)$ , вычисленные через каждые последующие 3-4 минуты во время ВИВ, отличались как по форме, так и по значениям  $N$  (на фиксированных высотах), после события значения  $N$  в  $D$ -области, в основном, восстанавливались в течение нескольких минут примерно к тем же значениям, что и до ВИВ.

В 1984-1986 гг. выполнены измерения  $A_{0,H}(h,t)$  и  $A_{0,H}^n(t)$

См. также  
материалы стр.



в периоды 7 магнитных бурь (МБ) (в главной фазе МБ в течение нескольких часов и при  $\chi = const$  в течение ряда дней до и после МБ, длительность регистраций при этом была  $t \sim 10-20$  минут). Характерным для всех измерений оказалось наличие интенсивных ЧО сигналов с высот  $h \approx 45-65$  км, превышающих уровень радишумов в 5-15 раз. Электронная концентрация на этих высотах возрастала до значений  $(2-7) \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$ . В ряде случаев отмечена корреляция между временными вариациями  $A_{0,n}(h,t)$  и изменениями геомагнитного поля (подобный эффект отмечен также в [24]).

После магнитных бурь (например, в декабре январе 1985 г.) в течение примерно 5-10 дней с высот  $h \approx 55-65$  км часто регистрировались ЧО сигналы, также превышающие уровень радишумов в несколько раз. Замечено, что такие события коррелируют с высыпаниями заряженных частиц, которые регистрировались с помощью ИСЗ.

На рис. 2а приведены  $N(h)$  - профили, полученные во время двух магнитных бурь (для  $h \leq 65$  км), а на рис. 2б изображены  $N(h)$  - профили в D-области на СШ, полученные при  $\chi = 78^\circ$  до начала МБ (кривые 1-4) и период МБ (кривые 5, 6) в начале активного периода. Отчетливо видно, что в период МБ на  $h = 78-90$  км значения  $N$  в 1,5-6 раз больше, чем до МБ. Дополнительная ионизация на  $h \leq 65$  км во время МБ, по-видимому, вызвана высыпанием заряженных частиц. Сравнивая экспериментальные  $N(h)$  с характерными для данного сезона и  $\chi$  невозмущенными  $N(h)$  (например, по модели [25]), оценим дополнительную скорость ионообразования  $\Delta q_i$ ; она оказывается  $\sim 1-4 \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$  для  $h = 50-65$  км. Полагая, что на этих высотах основной вклад в  $\Delta q_i$  вносит ионизация высыпавшимися протонами с энергиями  $E \sim 15-50$  МэВ по методике [26] сделаем оценку потока высыпавшихся частиц во время МБ:  $J_p \sim 0,05-0,12 \text{ см}^{-2} \text{ фр}^{-1} \text{ с}^{-1}$ .

Интересным оказалось также то, что в регистрациях ЧО сигналов во время МБ имело место одновременное существование отраженной  $E_{0,n}^k$  и рассеянной  $E_{0,n}^p$  составляющих (для  $h = 75-85$  км), причем доля  $E_{0,n}^k$  достигала 30 %.

В заключение отметим, что проведенные экспериментальные исследования позволили обнаружить и изучить ряд характерных

при  $\chi = 77,5^\circ$



свойств возмущений параметров нижней ионосферы в средних широтах, что важно для прогнозирования и моделирования распространения радиоволн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование реакции нижней ионосферы на удаленные мощные землетрясения / К.П.Гармаш, А.М.Гоков, А.И.Гритчин и др. // Радиотехника.- Харьков, 1990.- Вып. 95.- С. 52-56.
2. О влиянии мощных удаленных землетрясений на характеристики шумов и частично отраженных КВ радиосигналов - А.М.Гоков, А.И.Гритчин, В.Л.Дорохов и др. // Тезисы докладов 10 семинара по моделированию ионосферы.- Казань, 1990.- С. 75.
3. Реакция околоземной космической среды на удаленные мощные землетрясения / К.П.Гармаш, А.М.Гоков, А.И.Гритчин и др. // Всесоюзная конференция "Физика космической плазмы": Тезисы докладов.- Ереван, 1989.- С. 140-141.
4. Беликович В.В., Бенедиктов Е.А. Искусственные периодические неоднородности в нижней части D -области на восходе и заходе Солнца // Геомагнетизм и аэрномия.- 1986.- Т. 26, № 5 С. 837-839.
5. *Coharent HF-radar backscatter from small-scale irregularities in the dusk sector of the subauroral ionosphere / J. M. Ruohomaki, R. A. Greenwald, F. P. Villian et al. // J. of Geophys. Res. - A. - 1988. - V. 93. - P. 12871 - 12882.*
6. Комплексное экспериментальное исследование волн в атмосфере, генерируемых солнечным терминатором / В.П.Антонова, Н.И.Гусейнов, В.И.Дробжев и др. // Физика атмосферы и океана.- 1988, № 2.- С. 134-143.
7. Гоков А.М., Гритчин А.И., Мисюра В.А. Исследование влияния солнечного терминатора на параметры нижней ионосферы и характеристики частично отраженных КВ сигналов.- Харьков: Харьк. ун-т, 1990.- 14 с.- Деп. в ВИНТИ 23.04.90, № 2158-1390.
8. Митра А. Воздействие солнечных вспышек на ионосферу Земли.- М., 1977.- 370 с.
9. Метелкин Е.В., Сорокин В.М., Федорович Г.В. О природе колебаний геомагнитного поля, генерируемых солнечными вспыш-



Белешков

кама // Геомагнетизм и аэрономия.- 1982.- Т. 22, № 5.- С. 803-808.

10. Гокон А.М., Радиофизические исследования возмущенной D - области ионосферы методом частичных отражений. Автореферат дисс. ... канд. физ.-мат. наук.- Харьков, 1992.- 215 с.

11. Исследование вариаций параметров среднеширотной D - области ионосферы методом частичных отражений / А.М. Гокон, А.И. Гритчин, С.И. Мартыненко и др. // 16 Всесоюзная конференция по распространению радиоволн: Тезисы докладов.- Харьков, 1990.- С. 25.

12. *Qian U.S., Shafer D.C., Yip W.Y., Orville R.E. Subionospheric VLF signatures of nighttime D-region perturbations in the vicinity of lightning discharges // J. of Geophys. Res. - 1988 C. - V. 93. - P. 1145-1151.*

13. *Poulsen W.L., Bell T.F., Qian U.S. 3-D modeling of subionospheric VLF propagation in the presence of localized D-region perturbations associated with lightning // J. of Geophys. Res. - 1990. - V. 95. - P. 2355-2362.*

14. Гокон А.М., Гритчин А.И. О возможном влиянии сильных гроз на параметры D - области ионосферы и характеристики зондирующих КВ-радиоволн // Геомагнетизм и аэрономия.- 1992.- Т. 32, № 1.- С. 178-180.

15. Казимировский Э.С. Взаимодействие между отдельными слоями ионосферы (обзор) // Исслед. по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца.- М., 1975.- Вып. 33.- С. 12-21.

16. Казимировский Э.С. Метеорологические эффекты в ионосферных процессах (обзор) // Ионосферные исследования.- 1980.- № 32.- С. 5-27.

17. Результаты исследований параметров D - области средних широт, полученные с помощью метода частичных отражений / А.М. Гокон, А.И. Гритчин, В.Л. Дорохов и др. // Тезисы докладов 2 Всесоюзного симпозиума по результатам исследования средней атмосферы.- М., 1986.- С. 73-74.

18. Рапопорт Э.Ц. Стратосферные потепления, циркуляция атмосферы и поглощение радиоволн в нижней ионосфере // Ионосферные исследования.- 1989.- № 47.- С. 96-119.

19. Данилов А.Д. Достижения в изучении области D в период МАП // Ионосферные исследования.- 1989.- № 47.- С. 78-95.



20. Стационарный комплекс аппаратуры для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений / А.И.Гритчин, В.Л.Дорохов, Л.Г.Концевая и др. // Вестник Харьк. ун-та.- 1988.- № 318: Радиофизика и электроника.- С. 21-24.

21. *Belrose J.S., Burke M.J. Study of the Lower Ionosphere Using Partial Reflection. 1. Experimental Technique and Method of Analysis // J. of Geophys. Res. - 1964. - V. 69. - N 13. - P. 2799 - 2814.*

22. Результаты измерения электронной концентрации в D-области ионосферы во время внезапных ионосферных возмущений / В.В.Беликович, Е.А.Бенедиктов, Л.В.Гришкевич и др. // Известия вузов. Радиофизика.- 1975.- Т. 18, № 8.- С. 1094-1097.

23. О связи геомагнитных пульсаций с параметрами среднеширотной нижней ионосферы / В.Л.Дорохов, Л.С.Костров, С.И.Мартыненко и др. // Геомагнетизм и аэрномия.- 1989.- Т. 29, № 1.- С. 132-133.

V 24. Эмпирическая модель распределения электронной концентрации среднеширотной D-области ионосферы / В.В.Беликович, Е.А.Бенедиктов, В.Д.Вяхирев и др. // Геомагнетизм и аэрномия.- 1992.- Т. 32, № 6.- С. 95-103.

25. Харгривс Дж.Е. Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Перевод с английского.- М., 1982.- 332 с.



Таблица 1

Основные параметры возмущений в нижней ионосфере, вызываемых землетрясениями

Длительность процесса, мин.	Величина квазипериода, мин.	Кажущаяся скорость, км.с <sup>-1</sup>	Возможный тип волн
~ 1	-	10 <sup>2</sup>	МГД
~ 1	-	10-50	гиротропная
~ 10	~ 3	6-8	электромагнитные
~ 10	~ 3	5-6	объемные
~ 12	2-3	3-4	поверхностные Релея
~ 20	~ 2	1,7-2,6	медленные МГД
15-20	~ 3-3,5	0,4-1	внутренние гравитационные