

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ГЕОМАГНЕТИЗМ
И
АЭРОНОМИЯ

Том 32

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

МОСКВА • 1982

3. Борисов Б.Б., Бочкарев Г.С., Булатова Н.Н. и др. // Геомагнетизм и ионосфера. 1989. Т. 29. С. 989.
 4. Бочкарев Г.С. // Тез. докл. Всесоюз. симпози. "Ионосфера и взаимодействие декаметровых радиоволн с ионосферной плазмой". М.: ИЗМИРАН, 1989. Ч. 1. С. 46.

Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР
Арктический и антарктический институт
Госкомгидромета СССР
Научно-исследовательский институт радио

Поступила в редакцию
29.03.91

УДК 550.388.2

© 1992 г.

А.М. Гоков, А.И. Гритчин

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ СИЛЬНЫХ ГРОЗ НА ПАРАМЕТРЫ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОНДИРУЮЩИХ КВ-РАДИОВОЛН

По измерениям методами частичных отражений и вертикального зондирования на средних широтах вблизи Харькова исследовано влияние сильных гроз на параметры нижней ионосферы, характеристики шумов и зондирующих КВ-радиосигналов. Показано, что сильные грозы инициируют инфразвуковые акустические волны с вертикальной составляющей скорости $v \geq 300$ м/с. Проанализировано поведение высотных профилей плотности электронов в D-области.

Введение. Изучение влияния грозовой активности на параметры атмосферы и ионосферы представляет важную задачу в ионосферных исследованиях, которая, несмотря на ее значимость (например, известно, что сильные грозы могут вызывать заметное изменение электронной концентрации N в E-слое ионосферы, возбуждать и усиливать волновые возмущения в ионосфере [1, 2] и т.д.), еще далека от своего решения. Это обусловлено в первую очередь сложностью проведения длительных экспериментальных наблюдений. Наименее изучено проявление грозовой активности в D-области.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования методами частичных отражений (ЧО) и вертикального зондирования (ВЗ) возможного влияния грозовой активности на параметры нижней ионосферы и характеристики зондирующих КВ-радиосигналов.

Экспериментальная техника и результаты. Исследования проводились в средних широтах вблизи Харькова весной и летом 1978–1989 гг. с помощью установки частичных отражений стационарного радиофизического ионосферного комплекса [3]. Основные параметры установки: рабочие частоты $f = 1,6-6$ МГц, длительность зондирующих импульсов $t_{\text{дл}} = 25-100$ мкс с частотой повторения $F = 1-100$ Гц. Контроль за вышележащими E- и F-областями ионосферы осуществлялся по нонотграммам вертикального зондирования в том же пункте наблюдения. Всего анализу подверглось 22 сеанса наблюдений. Измерения характеристик ЧО сигналов и шумов проводились в ряде случаев до и в периоды сильных гроз непрерывно в течение нескольких часов и сравнивались с данными, полученными на этой же аппаратуре в сходных геомагнитных условиях без проявления грозовой активности в районе наблюдений (в контрольные дни).

Сведения о вариациях характеристик шумов и отраженных сигналов во время гроз

№ п/п	Дата	Время, LT	h'_{E_f} , км	Поведение шумов (↑ – возрастание, ↓ – уменьшение), раз.	$h'_{\text{ЧО}}$, км
1	15.07.81	09.20–17.30	87–95	↓ в 2–4 раза перед грозой ↑ в 6–10 раз во время грозы	70–85
2	19.07.84	20.00–22.08	90–100	↑ в 4–10 раз	–
3	29.05.85	16.50–22.10	90–100	↑ в 5–8 раз	75–87 55–65
4	21.05.86	11.30–22.00	–	↑ в 4–10 раз до и во время грозы	72–90
5	05.06.86	21.00–23.15	90–100	↑ в 5–10 раз	–
6	25.06.86	11.50–16.00	90–100	↑ в 5–10 раз	75–87
7	27.08.88	08.55–18.00	–	↑ в 4–10 раз до и во время грозы	72–90

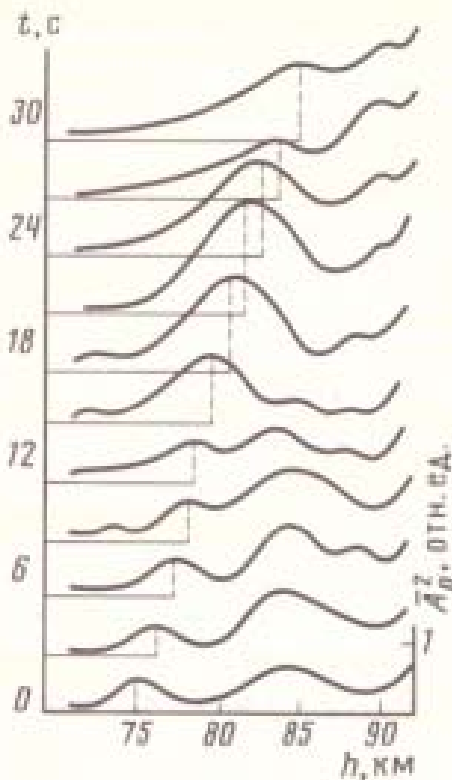


Рис. 1

Рис. 1. Временные вариации $\bar{A}_0^2(h)$ во время грозы

Рис. 2. Зависимости $N(h)$ в D -области во время грозы (кривая 1 — $h = 80$ км, кружки, 2 — $h = 85$ км, точки) и в контрольный день без проявления грозовой активности (3 — $h = 85$ км, кружки)

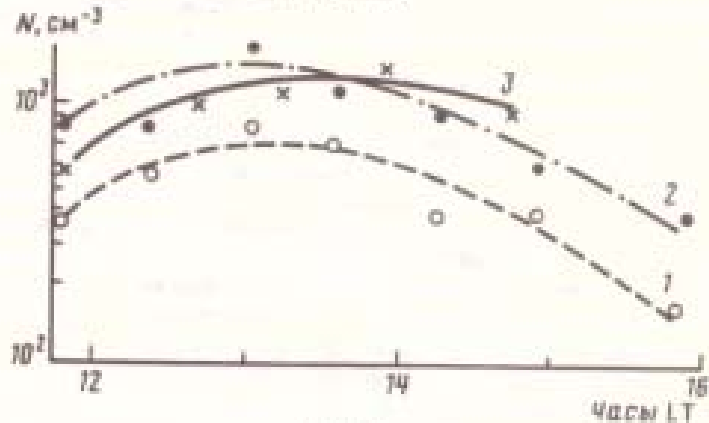


Рис. 2

Анализ экспериментальных данных позволили установить, что в периоды сильных гроз на высотах $h = 87-105$ км появляются спорадические слои E_s , вероятность появления которых по нашим данным составила $P_{E_s} = 85\%$. В эти же периоды времени обнаруживается увеличение числа критических отражений от верхней ионосферы. В контрольные дни в те же периоды времени $P_{E_s} = 20-40\%$.

В каждом сеансе наблюдений методом ЧО наряду с высотнo-временными зависимостями амплитуд ЧО сигналов $A_{o,n}(h, t)$ (h — высота, t — время, индексы o и n соответствуют обыкновенной и необыкновенной поляризации) регистрировались временные вариации амплитуд принимаемого шума $A_{o,n,ш}(t)$ на частотах $f = 2-3,5$ МГц. Как показал анализ массивов $A_{o,n,ш}(t)$, в периоды гроз уровень шума заметно возрастает по сравнению с догрозовым периодом. $A_{o,n,ш}$ увеличивается обычно в 4–10 раз; в ряде случаев отмечалось уменьшение в $\sim 2-4$ раза $A_{o,n,ш}$ перед грозой в течение десятков минут, а затем происходило возрастание $A_{o,n,ш}$ во время грозы.

Поведение ЧО сигналов от неоднородностей области D в периоды сильных гроз мало отличалось от контрольных дней (анализировалось поведение $A_{o,n}(h, t)$, коэффициентов их взаимной корреляции $\rho_{A_{o,n}}(h)$ и автокорреляции), отношение ЧО сигнал/шум уменьшалось почти пропорционально увеличению амплитуды шума.

Для иллюстрации изложенного в таблице приведены сведения о характере поведения характеристик шумов и зондирующих КВ-сигналов в периоды семи характерных сильных гроз.

В ряде экспериментов при анализе массивов $A_{o,n}(h, t)$, полученных до и в период грозы, обнаружены некоторые отличия. Например, 15.07.81 во время грозы обнаружены особенности в поведении $A_{o,n}(h, t)$ (при работе зондирующей установки с $F = 5$ Гц), которых не наблюдалось до грозы: на рис. 1 приведены высотнo-временные профили \bar{A}_0^2 , каждый из которых получен усреднением по 15 реализациям (за 3 с, черта сверху означает усреднение). Отчетливо видно смещение по высоте со временем (в течение 30 с) примерно на 10 км максимального значения \bar{A}_0^2 (аналогичная картина имеет место и для $A_N^2(h, t)$), вертикальная скорость перемещения такого возмущения $v \approx 300$ м \cdot с $^{-1}$.

Зависимости $A_{o,n}(h, t)$ (для $h = 78, 81$ и 85 км) для этой регистрации подвергались спектральной обработке по методу Фурье. Обнаружено увеличение спектральной составляющей на частоте $f \approx 0,5$ Гц, что соответствует инфразвуковому диапазону. Можно предположить, что такое поведение $A_{o,n}(h, t)$ во время грозы может быть обусловлено появлением инфразвуковых акустических волн, которые с малыми потерями распространяются в атмосфере от источника. Заметим, что в других случаях, когда зондирование ионосферы проводилось с $F = 10$ Гц, подобный эффект был выражен более отчетливо. Поэтому целесообразно проводить зондирование с $F \geq 5$ Гц.

По результатам измерений ЧО сигналов для ряда высот области D вычислялись зависимости $N(h)$ в периоды гроз. На рис. 2 приведены такие зависимости для $h = 80$ и 85 км (кривые 1 и 2; кружки и точки соответственно), полученные во время грозы 25.06.85. Для сравнения на рис. 2

приводится также зависимость $N(h)$ для $h = 85$ км (кривая 3, крестики), полученная в сходных гелиогеомагнитных условиях 03.06.85 без проявления грозовой активности в районе наблюдений. Как показывает этот пример и результаты других измерений, заметных ($> 30-40\%$) изменений N в D -области ($h \approx 75-85$ км) во время гроз не наблюдается (высотные профили $N(h)$ вычислялись по известной методике дифференциального поглощения [4] с учетом [5, 6]; погрешность вычислений N составляла $\leq 30\%$).

В нескольких сеансах наблюдений в течение некоторого времени (десятки мин – 1,5 ч) помимо отражений с высот $h \approx 75-90$ км наблюдались ЧО сигналы с $h \approx 55-65$ км, превышающие уровень помех в $\sim 5-8$ раз. Оценки N на этих высотах по методике [4] дают значения $N \approx (2-6) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$.

Обсуждение результатов. Приведенные выше результаты позволяют сделать несколько замечаний. В частности, инфразвуковые акустические волны, подобные полученным нами во время гроз, наблюдались ранее в атмосфере и ионосфере вследствие сильных ветровых потоков в горной местности, извержений вулканов, морских волнений, из-за сверхзвукового движения авроральных дуг [7, 8]. Характеристики (периоды, скорости распространения) таких инфразвуковых акустических волн оказались сходными по порядку величины. Заметим также, что еще в работе [9] для объяснения частичных отражений и рассеяния радиоволн от D -области ионосферы предлагался механизм взаимодействия электромагнитных зондирующих волн и атмосферных волн.

Тот факт, что во время нескольких гроз отмечено появление интенсивных ЧО сигналов с высот $h \approx 55-65$ км, указывает на появление дополнительной ионизации на этих высотах. Возможной причиной такого явления может быть высыпание высокоэнергетических частиц (электронов) из магнитосферы (анализ геомагнитной обстановки показал, что других источников возмущений – солнечных вспышек, магнитных бурь и т.п. – в эти периоды не отмечалось), на что указывалось в [10].

Выводы. Экспериментально установлено, что сильные грозы могут возбуждать в атмосфере инфразвуковые акустические волны с частотами $f \gtrsim 0,5$ Гц, которые проникают в нижнюю ионосферу со скоростями распространения (вертикальными) $v \gtrsim 300 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Показано, что в периоды сильных гроз возможно высыпание заряженных частиц, вследствие чего наблюдается повышение фоновой ионизации до $(5-8) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ на высотах $h \approx 55-65$ км. В то же время в D -области заметных ($> 30\%$) изменений во время гроз не обнаружено. Установлено, что в периоды сильных гроз возрастает (в $\sim 2-4$ раза) вероятность появления спорадических слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хейли В.В., Ким В.П., Илич-Самыч П.В. Препринт № 61 (815). М.: ИЗМИРАН, 1988. 15 с.
2. Минкин А.С., Фаткуллин М.Н. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1986. Т. 26. С. 906.
3. Гритчин А.И., Дорохов В.Л., Кояцева Л.Г. и др. // Вестн. Харьк. ун-та. Радиофизика и электроника. 1988. Вып. 318. С. 21.
4. Bebbie J.S. // J. Atmos. Terr. Phys. 1970. V. 32. P. 567.
5. Гохов А.М., Пивень Л.А., Федоренко Ю.П. // Радиотехника. Харьков. 1990. Вып. 93. С. 108.
6. Беликович В.В., Бенедиктов Е.А., Вахирев В.Д. и др. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1983. Т. 23. С. 202.
7. Siegel K., Thrane E.V., Brekke A. // J. Atmos. Terr. Phys. 1980. V. 42. P. 809.
8. Bertel L., Bertin F., Vestud V. et al. // J. Atmos. Terr. Phys. 1978. V. 40. P. 691.
9. Hines C.O. // Can. J. Phys. 1960. V. 38. P. 1441.
10. Vogt H.D., Imhof W.L., Walt M.E. et al. // Nature. 1984. № 5996. P. 740.

Харьковский государственный университет

Поступила в редакцию
01.02.91

УДК 523.165

© 1992 г.

Ю.Н. Баранникова, О.А. Барсуков, В.Б. Комаров, В.П. Пустовогов

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА МЮОНОВ АЛЬБЕДО В СТРАТОСФЕРЕ

Рассмотрена проблема формирования потока мюонов альбедо в стратосфере. Проведен расчет энергетических и угловых характеристик потока мюонов альбедо при жесткости геомагнитного обрезания $R = 1; 4,5; 15$ ГВ в диапазоне высот $20 < h_{\mu} < 50$ км. Сравнение эксперимента и расчета приводит к удовлетворительному согласию. Из расчета следует, что степень анизотропии потока мюонов альбедо резко возрастает с увеличением энергии мюона, а величина потока сравнима с потоком протонов прямого альбедо в области энергий более 200 МэВ. Максимум в интегральном потоке мюонов альбедо достигается на высотах $h_{\mu} \approx 30$ км.