

НЕОДНОРОДНАЯ СТРУКТУРА ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ АНТАРКТИДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

к.ф.-м. н. А.А. Можаяев, В.М. Трубицын, к.т.н. С.В. Арепьев,
к.т.н. А.В. Дремлюга, к.т.н. В.А. Гирдвоин, С.Я. Григорьев
(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

Проведен анализ особенностей поведения полного электронного содержания ионосферы Земли на высоких геомагнитных широтах Южного полушария при различных уровнях магнитной активности, а также во время суббури типа SSC 30 ноября 1988 года.

Наблюдения за сигналами спутниковой радионавигационной системы типа «Транзит» на высоких геомагнитных широтах Южного полушария на ст. Молодежная (геомагнитная широта $\Phi_T - 69,8^\circ S$) в летний сезон 1988-1989 гг. позволили получить огромный экспериментальный материал, позволяющий оценить состояние высокоширотной ионосферы Антарктиды при высокой солнечной активности ($F_{10,7} > 160$).

При приеме сигналов спутника регистрировалась приведенная разность фаз когерентных частот 150 и 400 МГц, которая при соответствующей методике обработки [1, 2] позволяет рассчитать полное электронное содержание ионосферы (N_o) в вертикальном столбе ионосферы единичного сечения где-то между пунктом наблюдения и спутником. Обычно N_o относят к точке пересечения радиолуча с высотой максимума слоя F_2 (так называемая «подионосферная точка»).

Остановимся на некоторых результатах, полученных при различных уровнях геомагнитной активности. Анализ полуночных профилей $N_o(-\Phi_T)$, полученных при низкой магнитной активности ($Kp < 3$), показывает наличие крупномасштабной неоднородности ионосферы типа главного ионосферного провала (ГИП) в районе $\Phi_T \sim 56-60^\circ S$. Его высокоширотная стенка просматривается до $\Phi_T \cong 67^\circ S$, выше которой начинает проявляться волнообразная структура высокоширотной ионосферы. В полуденном временном секторе в широком интервале Φ_T в период измерений ГИП не наблюдается.

На рис. 1 приведены типичные профили $N_o(-\Phi_T)$, полученные в январе 1989 г. при высокой магнитной активности в различных временных секторах ионосферы. Рис. 1,б) представляет собой зависимость N_o от геомагнитной широты Φ_T , а рис. 1,а) иллюстрирует на полярной диаграмме местоположе-

ние получаемого профиля $No(-\Phi_T)$ относительно местного магнитного времени (MLT). Для каждого профиля указаны также индексы магнитной активности Kp . Результаты проведенного анализа показывают, что профили $No(-\Phi_T)$ полуночного сектора при высокой магнитной активности ($Kp > 5$) имеют волнообразную структуру, характеризующую ее неустойчивость, а высокоширотная стенка ГИП расположена на более низких геомагнитных широтах, чем при умеренных и низких Kp - индексах (кривые 1 - 3). Для полуденного сектора увеличение Kp - индекса также приводит к появлению волнообразной структуры в зависимостях $No(-\Phi_T)$, которая, однако, менее ярко выражена, чем в ночном секторе (кривые 4, 5). Общая же тенденция уменьшения No с увеличением геомагнитной широты сохраняется в дневном секторе как при низкой, так и при высокой магнитной активности.

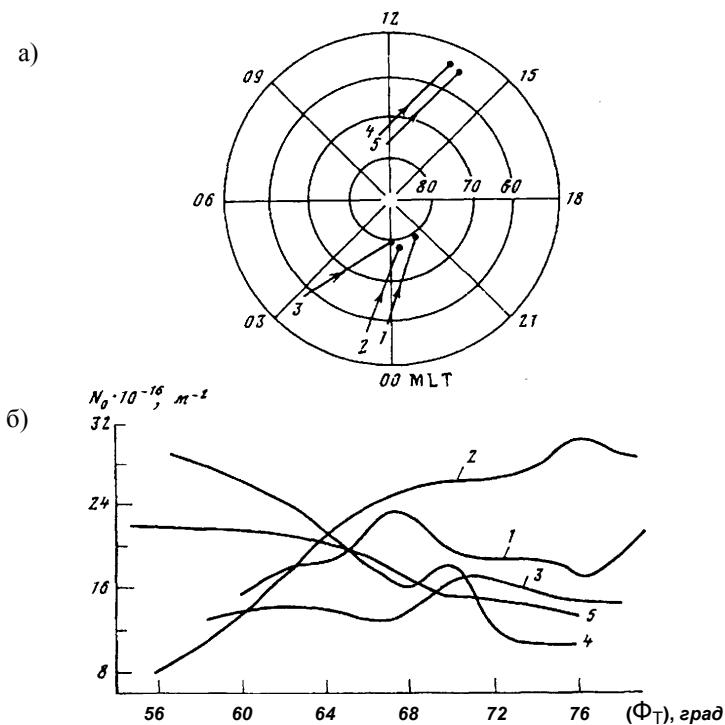


Рис. 1. Типичные профили $No(-\Phi_T)$, полученные в Антарктиде в январе 1989 г. при высокой магнитной активности в различных временных секторах ионосферы

Авторами был проведен также анализ поведения некоторых параметров высокоширотной ионосферы при различных фазах магнитной бури, результаты которого представлены ниже.

На рис. 2,а) приведены зависимости $No(-\Phi_T)$ в течение сеансов радиосвязи со спутниками до и после начала суббури типа SSC 30 ноября 1988г., а на рисунке 2,б) – зависимости индекса мерцаний S_4 амплитуды сигнала на частоте 150 МГц от геомагнитной широты за тот же период времени.

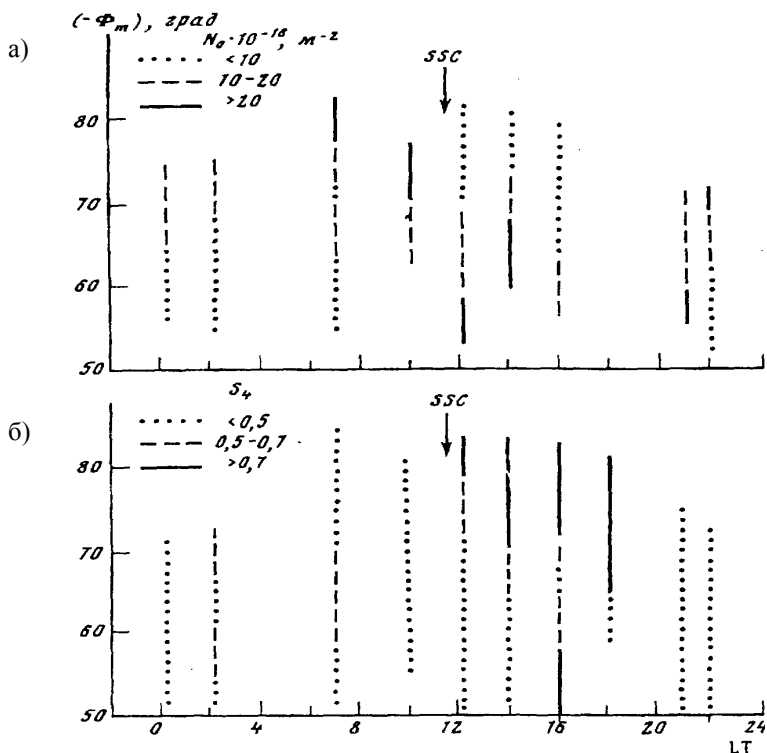


Рис. 2. Зависимости $No(-\Phi_T)$ в течение сеансов радиосвязи со спутниками до и после начала суббури типа SSC 30 ноября 1988 года

Результаты анализа данных кривых показывают, что сразу после начала суббури No резко уменьшается в несколько раз, в то время как индекс S_4 возрастает. Кроме того, необходимо отметить, что данный эффект наиболее ярко проявляется на широтах $\Phi_T > 70^\circ S$. Однако, спустя 12 часов после начала бури оба параметра восстанавливаются в широком интервале Φ_T . Из рисунка также видно, что на широтах $\Phi_T < 60^\circ S$ оба параметра слабо изменяются. Необходимо заметить, что различные авторы используют отличные от S_4 индексы мерцаний, что затрудняет сравнение полученных результатов. Поэтому при проведении исследований авторами использовалась методика, представленная в работе [3], определяющая зависимости между различными индексами мерцаний S_1 , S_2 , S_3 и S_4 . Однако, необходимо отметить, что установить какие-либо общие закономерности изменения параметров во время кон-

кретных суббурь практически невозможно, поскольку очень трудно подобрать хотя бы две суббури, имеющие одинаковые энергетические характеристики и временные соотношения. Поэтому авторами был проведен сравнительный анализ суточных вариаций N_0 при различных фазах магнитной бури с использованием данных, представленных в [4] для Северного полушария.

Результаты анализа представлены на рис. 3, где показаны суточные вариации N_0 на различных геомагнитных широтах до и после начала суббури для Южного полушария (рис.3,а), а также аналогичные данные для Северного полушария (рис.3,б). Видно, что сразу же после начала суббури на всех геомагнитных широтах Южного полушария наблюдается резкое уменьшение (в 5 - 6 раз) величины N_0 с последующим восстановлением до среднесуточного значения. Это уменьшение тем больше, чем выше геомагнитная широта.

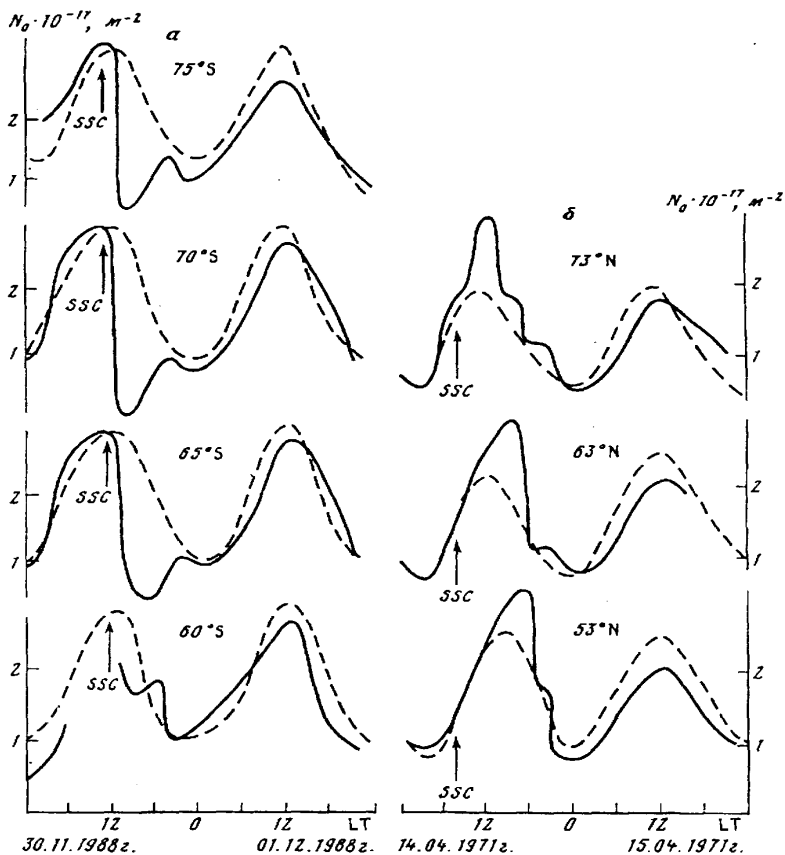


Рис. 3. Суточные хода N_0 на различных геомагнитных широтах до и после начала суббури

Таким образом, на основе результатов проведенных исследований вари-

аций полного электронного содержания ионосферы Южного полушария в периоды повышенной магнитной активности сделаем два основных вывода.

1. При высокой магнитной активности ($Kp > 5$) неустойчивая структура ионосферы проявляется в волнообразном характере профилей $N_o(-\Phi_T)$ во всех временных секторах геомагнитных координат.

2. В суточных вариациях N_o в период магнитной бури типа SSC сразу же после ее начала наблюдается уменьшение (в 5—6 раз) полного электронного содержания ионосферы до наступления местной ночи, после чего из-за процесса рекомбинации оно восстанавливается до среднего суточного значения.

Данные выводы хорошо согласуются с результатами, представленными в известной литературе. Так, например, с началом суббури в Северном полушарии [4] наблюдалось увеличение N_o для станций Туле, Нарсарсуак и Гамльтон. в 1,8; 2,2 и 2,3 раза (рис. 36) и оно сохранялось до наступления местной ночи после начала магнитной бури.

Следует также отметить, что изменения N_o во время магнитных бурь представляют собой достаточно сложный процесс [5], ввиду того, что соответствующие характеры профилей $N_e(h)$ на высотах области F , вносящих основной вклад в N_o , зависят от высоты, сезона, широты, времени суток, фазы магнитной бури и т.п. Поэтому закономерности вариаций N_o во время магнитных бурь слабо поддаются обобщению и пока во многом противоречивы [6]. Например, проведенный анализ вариаций N_o и $(foF2)^2$ в глобальном масштабе во время четырех магнитных бурь, наблюдавшихся в 1969—1970 гг. [6] показал, что для конкретной широты и долготы невозможно предсказать вариации N_o . Выявлены значительные расхождения в вариациях N_o во время магнитных бурь, измеренных на близкорасположенных станциях. Для изучения реакции N_o на магнитную бурю 17 декабря 1971 г. [7] проведен анализ данных, полученных путем непрерывной регистрации радиосигналов геостационарных ИСЗ по 20 пунктам. Отмечено значительное возрастание N_o в северном полушарии. Данные наблюдения некогерентного рассеяния [8] показали, что после начала одиночной суббури электронная концентрация на высоте 330 км резко уменьшается с постепенным восстановлением до невозмущенного уровня. Электронная концентрация в слое E в это же время резко возросла, поэтому величина полного содержания электронов в ионосфере может изменяться по закону, определяемому соотношением концентраций слоев F и E .

На основе анализа измерений полного электронного содержания ионосферы Земли на высоких геомагнитных широтах Южного полушария при различных уровнях магнитной активности, а также во время суббури типа SSC 30 ноября 1988 г. получены следующие результаты.

1. Получены данные измерений полного электронного содержания ионосферы Южного полушария на широтах $\Phi_T \sim 56\text{—}78^\circ S$ по наблюдениям за сигналами спутниковой радионавигационной системы типа «Транзит» на высоких геомагнитных широтах Южного полушария на ст. Молодежная (геомагнитная широта $\Phi_T \sim 69,8' S$) в летний сезон 1988—89 гг.

2. Определено, что при высокой магнитной активности ($K_p > 5$) неустойчивая структура ионосферы проявляет волнообразный характер профилей N_o ($-F_2$) во всех временных секторах геомагнитных координат.

3. Выявлено, что в суточном ходе N_o в период магнитной бури типа SSC сразу же после ее начала наблюдается изменение (в 5—6 раз) полного электронного содержания ионосферы до наступления местной ночи, после чего из-за процесса рекомбинации величина N_o восстанавливается до своего среднего суточного значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солодовников Г.К., Синельников В.М., Крохмальников Е.Б. Дистанционное зондирование ионосферы Земли с использованием радиомаяков космических аппаратов. – М.: Наука, 1989. – 198 с.

2. Трубицын В.М., Косолапенко В.И., Савенков А.В., Чалая М.И. Полное электронное содержание высокоширотной ионосферы Северного и Южного полушарий Земли по наблюдениям спутниковых радиомаяков // Волновые процессы в приземной плазме. – М.: ИЗМИРАН. – 1992. – С. 32 - 35.

3. Солодовников Г. К., Русскин В. М., Друкаренко С. П. Мерцания сигналов ИСЗ, обусловленные структурой высокоширотной ионосферы // Ионосферные исследования. – М.: Сов. радио. – 1983. – № 37. – С. 69 - 74.

4. Mendillo M. Review of positive ionospheric storms: observation and theory // Proc. Beacon satellite symposium in investigations of the ionosphere structure and ATS-6 data. – Moscow: IZMIRAN. – 1974. – V. 2. – P. 60 - 62.

5. Фаткуллин М. Н. Ионосферные возмущения // Итоги науки и техники. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. – М.: ВИНТИ. – 1978. – Т. 4. – С. 6.

6. Kane R. P. Global evolution of the ionospheric electron content during some geomagnetic storms // Atmos. Terr. Phys. – 1975. – V. 37, № 4. – P. 598 - 602.

7. Schodel J. P., Rosa A. V. da, Mendillo M. et al. A global description of the F - region during the ionospheric storm of 17 December 1971 // J. Atmos. Terr. Phys. – 1974. – V. 36. № 7. – P. 1119 - 1125.

8. Широков Л. В., Макарова Л. П., Маурите С. Л., Шлегель К. Структура авроральной ионосферы в период суббури 13 июля 1984 г. // Геомагнетизм и аэрономия. – 1988. – Т. 28, № 3. – С. 413 - 417.

Поступила в редколлегию 5.03.2001