

## АНАЛИЗ АМПЛИТУДЫ ЯВЛЕНИЙ ППШ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ В РАВНОДЕНСТВЕННЫЕ И ЛЕТНИЕ СЕЗОНА ГОДА

В.А. Ульев<sup>1</sup>, О.А. Данилова<sup>2</sup>, В. Николаева<sup>1</sup>, О.И. Шумилов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Арктический и Антарктический Научно-исследовательский институт (АНИИ, СПб),  
e-mail: vauliev@yandex.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский филиал Института Земного Магнетизма, Ионосферы и Распространения радиоволн (СПбО ИЗМИРАН), e-mail: marta@mt4697.spb.edu

<sup>3</sup>Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Апатиты, e-mail: oleg@aprec.ru

**Аннотация.** В работе анализируется изменение амплитуды ППШ в местное летнее полугодие (весна – местное лето – осень) по данным риометрических наблюдений на ст. о. Хейса и Восток, расположенных внутри полярной шапки Северного и Южного полушария. Установлено, что сезонные вариации амплитуды ППШ на этих станциях отсутствуют. Данные по ППШ сопоставлены с сезонным изменением спектра потоков солнечных протонов. Рассмотрены высотные профили некоторых параметров мезосферы и нижней ионосферы (слой D) (температуры (Т), давления (Р), плотности ( $\rho$ ), частоты соударения электронов ( $\nu$ ) и эффективного коэффициента рекомбинации ( $\alpha$ )) летом и весной над ст. о. Хейса. Все эти параметры имеют сезонные вариации. Согласно расчётам летнее изменение мезосферных параметров (Т, Р,  $\rho$  и  $\nu$ ) вызывает повышение поглощения ППШ по сравнению с равноденственными значениями, тогда как летнее изменение ионосферного параметра ( $\alpha$ ) – понижение. В результате – общее поглощение ППШ летом существенно не изменяется по сравнению с поглощением в равноденственные сезоны, что обосновывает указанное выше отсутствие сезонной вариации амплитуды ППШ по экспериментальным данным.

### 1. Введение

После мощных солнечных вспышек в течение нескольких суток риометры на высокоширотных станциях ( $\Phi > 60^\circ$ ) Северного и Южного полушария регистрируют повышенное поглощение, которое называется «Поглощением типа Полярной Шапки» или явлением ППШ [Дриацкий, 1974]. На рис. 1 представлена вариация поглощения ППШ (11 – 19 апреля 1969г.) на ст. о. Хейса. 13 апреля наблюдается максимум поглощения за период ППШ, который называется амплитудой ППШ ( $L_3$ ).



**Рисунок 1.** Вариация поглощения на ст. о. Хейса во время ППШ 11 - 20 апреля 1969г.  
 $L_3$ -экспериментальная амплитуда ППШ.

Явления ППШ регистрируются в различные сезоны года. Зимой поглощение ППШ примерно в 5 -7 раз меньше, чем в другие сезоны. Это связано с возрастанием скорости рекомбинации электронов в нижних слоях ионосферы зимой при неосвещённой ионосфере, что приводит к уменьшению поглощения. Известно, что в другие сезоны года (весной, летом и осенью) происходит изменение параметров мезосферы и ионосферы, что может вызвать сезонное изменение поглощения ППШ. В данной работе анализируется сезонный ход (в месяцы местного летнего полугодия) амплитуды ППШ по риометрическим наблюдениям на станциях, расположенных внутри полярной шапки.

### 2. Экспериментальные данные

Рассмотрены вариации поглощения во время явлений ППШ на ст. о. Хейса ( $\varphi = 80.6^\circ$  С,  $\lambda = 58^\circ$  В и  $\Phi = 74.7^\circ$  С) и ст. Восток ( $\varphi = 78.4^\circ$  Ю,  $\lambda = 106.9^\circ$  В и  $\Phi = -83.26^\circ$  Ю), зарегистрированные за период 1966 – 1998 гг. в равноденственные и местные летние сезоны года. Для каждого явления ППШ определена экспериментальная амплитуда ( $L_3$ ) и вычислена относительная амплитуда ( $L_0$ ):

$$L_o = L_o / L_p \quad (1)$$

$$L_p = 0.1 * (\sqrt{J(>10\text{МэВ})}) \quad (2)$$

где  $L_o$ ,  $L_p$  - соответственно экспериментальная и расчётная амплитуда ППШ;  
 $J(>10\text{МэВ})$  - экспериментальная величина интенсивности интегрального потока солнечных протонов с энергией  $E_p > 10$  МэВ (част/стер\*см<sup>2</sup>\*с) в максимуме солнечного протонного события, обусловившего явление ППШ.

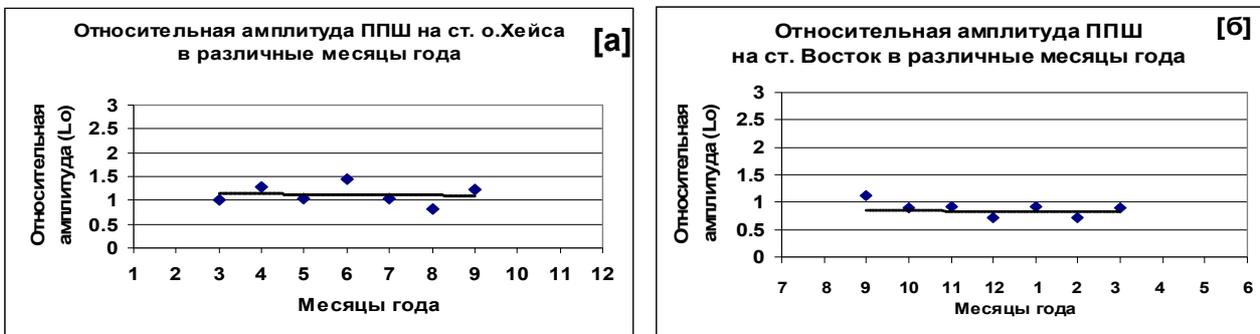
Формула (2) - эмпирическое выражение, полученное по экспериментальным данным регистрации ППШ и потоков солнечных протонов в 60 -70-е годы [Дриацкий, 1974].

Использование относительных значений амплитуды ППШ позволяет исключить возможное влияния интенсивности потока солнечных протонов на конечные результаты.

На момент проявления максимума ППШ рассчитывался показатель ( $\gamma$ ) степенного интегрального энергетического спектра потоков солнечных протонов, вызывающих поглощение ППШ, исходя из данных опубликованных в работах [Логачев и др. 1982, 1986, 1990, 1999] и Solar-Geophysical Data NOAA.

### 3. Анализ экспериментальных и расчётных данных

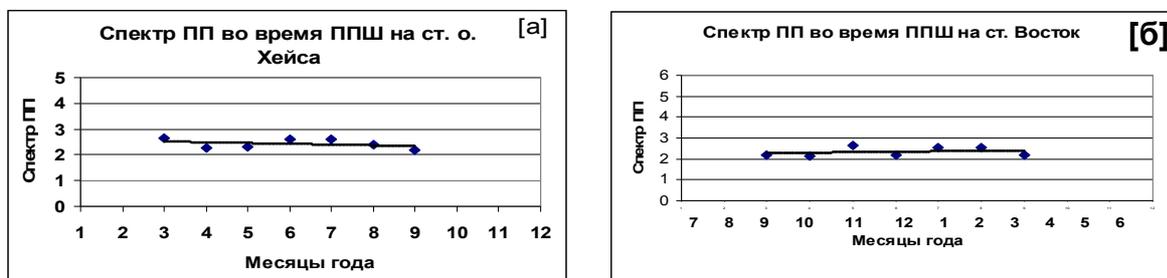
Данные по ППШ. На рис. 2а и 2б представлены среднемесячные за все годы (в равноденственные и местные летние месяцы года) значения относительной амплитуды ППШ ( $L_o$ ) по данным ст. о. Хейса и Восток. На обоих рисунках проведены линии прямолинейной регрессии, аппроксимирующие распределение значений  $L_o$ .



**Рисунок 2.** Среднемесячные значения относительной амплитуды ППШ с 1970 - по 1995 годы (данные ст. о. Хейса (а) и Восток (б))

Линии регрессии показывают, что не существует сезонного тренда относительной амплитуды ППШ. Для объяснения этой тенденции рассмотрены факторы, влияющие на поглощение ППШ: спектр потоков солнечных протонов, параметры мезосферы и нижней ионосферы (слой D).

Спектр потоков солнечных протонов. На рис. 3а и 3б показаны среднемесячные за все годы (в равноденственные и местные летние месяцы года) значения спектра ( $\gamma$ ). На обоих рисунках проведены линии прямолинейной регрессии, аппроксимирующие распределение значений  $\gamma$ . Видно, что практически нет сезонного изменения значений  $\gamma$ . Следовательно, характер спектра потоков солнечных протонов не влияет на сезонный ход относительной амплитуды ППШ ( $L_o$ ).

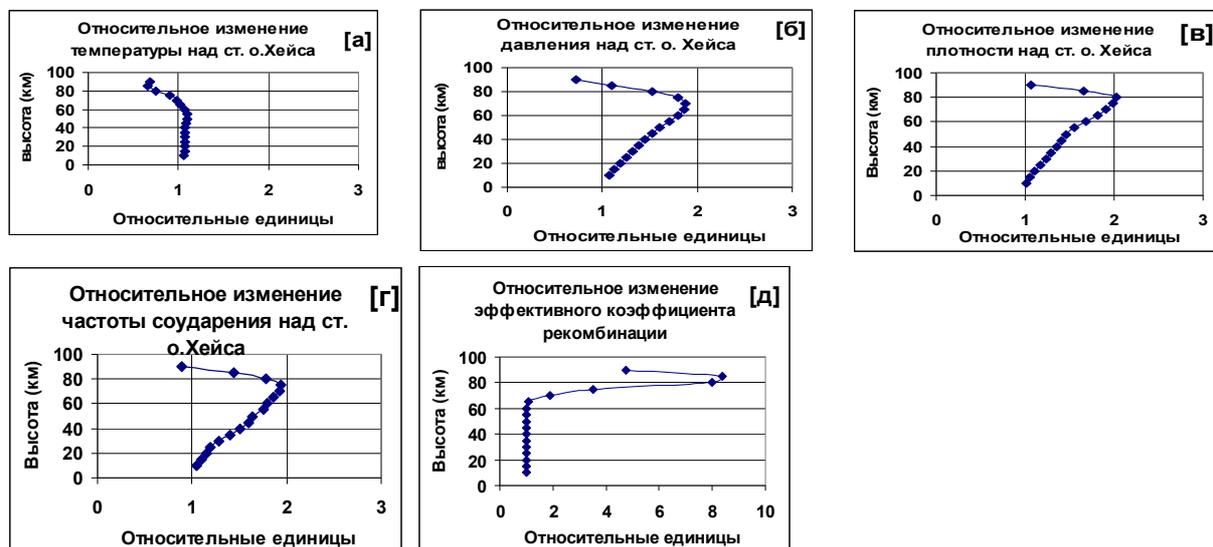


**Рисунок 3.** Среднемесячные значения показателя степенного спектра потока протонов ( $\gamma$ ) с 1970 - по 1993 годы во время СПС, обусловивших ППШ на ст. о. Хейса [а] и Восток[б].

Параметры мезосферы и ионосферы. На рис. 4а – 4г представлены высотные профили относительного изменения некоторых параметров мезосферы и ионосферы: температуры (Т), давления (Р), плотности ( $\rho$ ) и частоты соударения электронов ( $\nu$ ) над ст. о. Хейса. Для этого соотносились летние значения этих

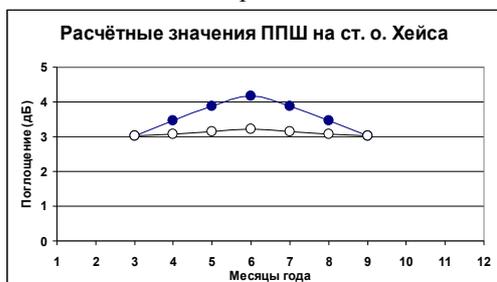
параметров с весенними (соответственно июнь/март). Значения параметров  $T$ ,  $P$ ,  $\rho$  и  $\nu$  брались из модели MSIS-90 для ст. о. Хейса (15 июня и 15 марта в 08 UT – в местный полдень ст. о. Хейса).

Сопоставлено сезонное изменение эффективного коэффициента рекомбинации ( $\alpha$ ). Значения  $\alpha$  брались из двух статей [Swider, 1975; Reagan, 1976], в которых представлены значения  $\alpha$ , полученные экспериментально-расчётным методом для двух явлений ППШ: 4 – 8 августа 1972г. и 2 – 5 ноября 1969г. В данной работе значения  $\alpha$  в эти ППШ рассматривались соответственно как условно летние ( $\alpha_n$ ) и условно равноденственные ( $\alpha_p$ ). На рис. 4д представлен высотный профиль соотношения  $\alpha_n/\alpha_p$ .



**Рисунок 4.** Сезонное относительное изменение параметров мезосферы и ионосферы (отношение летних к равноденственным величинам: июнь/март) над ст. о. Хейса

Все графики на рис. 4 показывают, что высотные профили относительных значений рассматриваемых параметров на высотах мезосферы существенно отличаются от «1», т.е. имеется сезонное изменение этих параметров. Это должно влиять на сезонный ход амплитуды ППШ. Для проверки этого предположения проведены модельные расчёты.



**Рисунок 5.** Расчётные значения поглощения ППШ на ст. о. Хейса в разные месяцы года.

● - параметры мезосферы ( $T$ ,  $P$ ,  $\rho$ ,  $\nu$ ) соответствуют месяцам года, параметр ионосферы ( $\alpha$ ) соответствует равноденственному месяцу (март);  
 ○ - все параметры соответствуют месяцу года

На рис. 5 представлены расчётные значения поглощения ППШ на ст. о. Хейса в различные месяцы года. Расчёты производились следующим образом. В модель вводились (1) одинаковые для всех месяцев года потоки солнечных протонов, зарегистрированные 14 апреля 1969г. в 08 UT (12 ч. местного времени ст. о. Хейса), и (2) значения параметров мезосферы и ионосферы в различные месяцы года согласно модели MSIS-90 для ст. о. Хейса в 08 UT (12 ч. местного времени ст. о. Хейса). Были проведены две серии расчётов для 8-ми месяцев года.

В первой серии в каждый месяц в модель вводились значения параметров мезосферы ( $T$ ,  $P$ ,  $\rho$ ,  $\nu$ ), соответствующие расчётному месяцу. Значения параметра  $\alpha$  для всех месяцев принимались одинаковыми равными равноденственным значениям ( $\alpha_p$ ). В этом случае наблюдается (см. рис. 5 – чёрные кружки) тенденция увеличения поглощения от равноденственных к летним месяцам.

Во второй серии в каждый месяц вводились все значения параметров мезосферы и ионосферы соответствующие данному месяцу в том числе различные значения  $\alpha$  (данные для апреля, мая, июля и августа были получены аппроксимацией между известными значениями для июня ( $\alpha_n$ ) и марта/сентября ( $\alpha_p$ )). В этом случае видно (см. рис. 5 – светлые кружки), что значения поглощения ППШ в различные месяцы года несущественно отличаются друг от друга.

Т.о. расчёты показывают, что (1) сезонное изменение от равноденствия к лету ряда параметров ( $T$ ,  $P$ ,  $\rho$ ,  $\nu$ ) вызывает возрастание поглощения, а параметра  $\alpha$  – уменьшение; (2) в результате поглощение ППШ в течение месяцев летнего полугодия существенно не меняется.

#### **4. Заключение**

Основные результаты проведённого исследования следующие:

(1) по экспериментальным данным установлено, что в период местного летнего полугодия отсутствует сезонное изменение амплитуды ППШ на станциях внутри полярной шапки в Северном и Южном полушариях;

(2) по экспериментальным данным установлено отсутствие сезонного изменения спектра потоков солнечных протонов;

(3) согласно модельным данным (модель MSIS-90) существует сезонное изменение параметров мезосферы ( $T$ ,  $P$ ,  $\rho$ ,  $\nu$ ); согласно экспериментально-расчётным данным существует сезонное изменение ионосферного параметра в слое D( $\alpha$ );

(4) согласно расчётам сезонное изменение от равноденствия к лету параметров ( $T$ ,  $P$ ,  $\rho$ ,  $\nu$ ) вызывает повышение поглощения, а параметра  $\alpha$  – уменьшение; в результате летом поглощение существенно не меняется по сравнению с равноденственными сезонами, что объясняет отсутствие экспериментальной сезонной вариации амплитуды ППШ.

#### **Список литературы**

- Дриацкий В.М. Природа аномального поглощения космического радиоизлучения в нижней ионосфере высоких широт // Гидрометеоздат, Ленинград, 1974.
- Логачев Ю. И. и др. //Каталоги солнечных протонных событий 1970 - 1979 гг. 1980 – 1986гг.; 1987 – 1996гг. // Москва, ИЗМИРАН, 1982; Москва 1986.
- Swider W., Dean W.A. /Effective electron loss coefficient of the disturbed day-time D region. //J, Geophys. Res., Vol. 80, No. 13, pp. 1815-1819, 1975.
- Reagan J.B., Watt T. M. /Simultaneous satellite and radar studies of the D-region ionosphere during the intense solar particle events of august 1972// J, Geophys. Res., Vol. 81, No. 25, pp. 4579-4596, 1976.
- Solar-Geophysical Data NOAA. USA Department of Commerce, 1970 - 1996