

DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.033

СЕЗОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА УТРЕННЕГО ПониЖЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ППШ

В.А. Ульев, Д.Д. Рогов, А.В. Франк-Каменецкий

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ, СПб)

E-mail: vauliev@yandex.ru

Аннотация. В работе приводятся примеры проявления эффекта утреннего понижения (УП) поглощения в период событий ППШ в равноденственные и летние сезоны. В сравнении с модельными значениями поглощения показаны отклонения экспериментальных риометрических данных от их ожидаемой величины (в отсутствие эффекта УП). Высказаны предположения о возможной природе данного эффекта и объяснения его сезонной зависимости.

Введение

В работе [Ульев и др., 2019] описан новый эффект в явлениях ППШ. Эффект заключается в том, что в некоторых ППШ на станциях в центральной части полярной шапки (ППШц) в утренние часы вплоть до местного полудня наблюдается пониженное поглощение, которое названо эффектом утреннего понижения поглощения (УП). Эффект УП не коррелирует с изменением потоков протонов в рассматриваемый период. В данной работе анализируются примеры появления УП в различные сезоны года.

Экспериментальные данные

На рисунке 1 (а - г) приведены экспериментальные риометрические данные проявления эффектов УП в различные сезоны года по результатам регистрации явлений ППШ за период 1998 – 2019 гг. на высокоширотных станциях, расположенных в ППШц: Восток (VOS) ($\Phi' = -83.3^\circ$), Мирный (MR) ($\Phi' = -77.2^\circ$) и Прогресс (PRG) ($\Phi' = -74.4^\circ$) – в Южном полушарии, Антарктида, российские станции), а также TAL ($\Phi' = 78.0^\circ$) и RAN ($\Phi' = 71.9^\circ$) – в Северном полушарии, Арктика, канадские станции – для 13 сентября 2017 г. (а), 11 сентября 2005 г. (б), 9 марта 2012 г. (в) и 14 декабря 2006 г. (г).

Каждая панель рис. 1 состоит из трех секций: верхняя – поток протонов, зарегистрированный спутниками GOES, две нижние – экспериментальные данные риометров (красная кривая) и расчетное значение поглощения (черная кривая) для двух риометров. Расчетное значение получено с помощью эмпирических формул пересчета значений интенсивности ПП в значения поглощения [Sauer and Wilkinson, 2008; Дриацкий, 1974; Рогов и др., 2015].

События, приведенные на рис. 1а, б, в зафиксированы в сезоны равноденствия, событие на рис. 1г – в летний сезон (для ст. Восток и Мирный Южного полушария).

ППШ в местный зимний сезон года не рассматривались, так как зимой ионосфера над высокоширотными станциями не освещена и поглощение ППШ имеет малую величину, что не позволяет определить наличие эффекта УП. В другие сезоны года анализировались ППШ средней и большой интенсивности с величиной поглощения в выбранный день ППШ более 1 дБ.

Анализ

На рисунке 1а показаны потоки протонов (ПП) (верхняя панель) и поглощение на ст. TAL ($\Phi' = 78.0^\circ$) и PRG ($\Phi' = -74.4^\circ$) с 18 UT 12 сентября по 00 UT 14 сентября 2017 г. (средняя и нижняя панели). По характерному возрастанию потоков протонов видно, что примерно в 21 UT 12 сентября 2017 г. наблюдается достижение орбиты Земли ударной волны и последующим приходом ПП магнитного облака. По экспериментальным данным в полярных шапках регистрируется пониженное значение поглощения (красная линия относительно черной) в период с 09 до 15 UT для ст. TAL и с 00 до 06 UT для ст. PRG. Этот эффект и был назван эффектом утреннего понижения поглощения (УП) [Ульев и др., 2019].

Аналогичные данные приведены отдельно для станций Северной полярной шапки TAL ($\Phi' = 78.0^\circ$) и RAN ($\Phi' = 71.9^\circ$) для двух событий, относящихся к сезонам осеннего 11 сентября 2005 г. (рис. 1б) и весеннего равноденствия 9 марта 2012 г. (рис. 1в).

На рисунке 1г показаны данные риометров VOS ($\Phi' = -83.3^\circ$) и MIR ($\Phi' = -77.2^\circ$) для 14 декабря 2006 г. (летний период для станций Южной полярной шапки). Видно, что после пикообразного возрастания поглощения (наблюдаемого при прохождении орбиты Земли потоков протонов ударной волны) и последующего прихода ПП вместе с магнитным облаком (примерно до 15 UT 14 декабря 2006 г.) до изменения спектра потока протонов вследствие прихода частиц от новой протонной вспышки (в 22 UT 14 декабря 2006 г.) наблюдалось хорошее согласие экспериментальных данных по поглощению (красная кривая) с его расчетными значениями (черная кривая). Таким образом, в те же часы, когда в равноденственных ППШ регистрировался эффект УП, в летний сезон этот эффект не проявился.

Таким образом, на основе анализа приведённых примеров можно предположить, что существует зависимость появления эффекта УП от сезона года. Предложено следующее объяснение этой связи. После мощных солнечных вспышек генерируются потоки ускоренных частиц (в основном потоки протонов – ПП). С другой стороны происходит выброс корональной массы (ВКМ) и возникает магнитное облако (МО). МО состоит из магнитных петель (МП), образующих центральную и внешнюю области МО. Центральную область МО составляют замкнутые МП (МПз), у которых оба конца находятся в короне Солнца, а внешнюю – открытые МП (МПо), у которых только один конец (как правило «восточный») находится в короне Солнца. МП заполняются ПП и при этом в МП формируется 2 потока ПП: ППзп и ППвп, которые соответственно движутся в западной и восточной частях МП [Malandraki et al., 2002a].

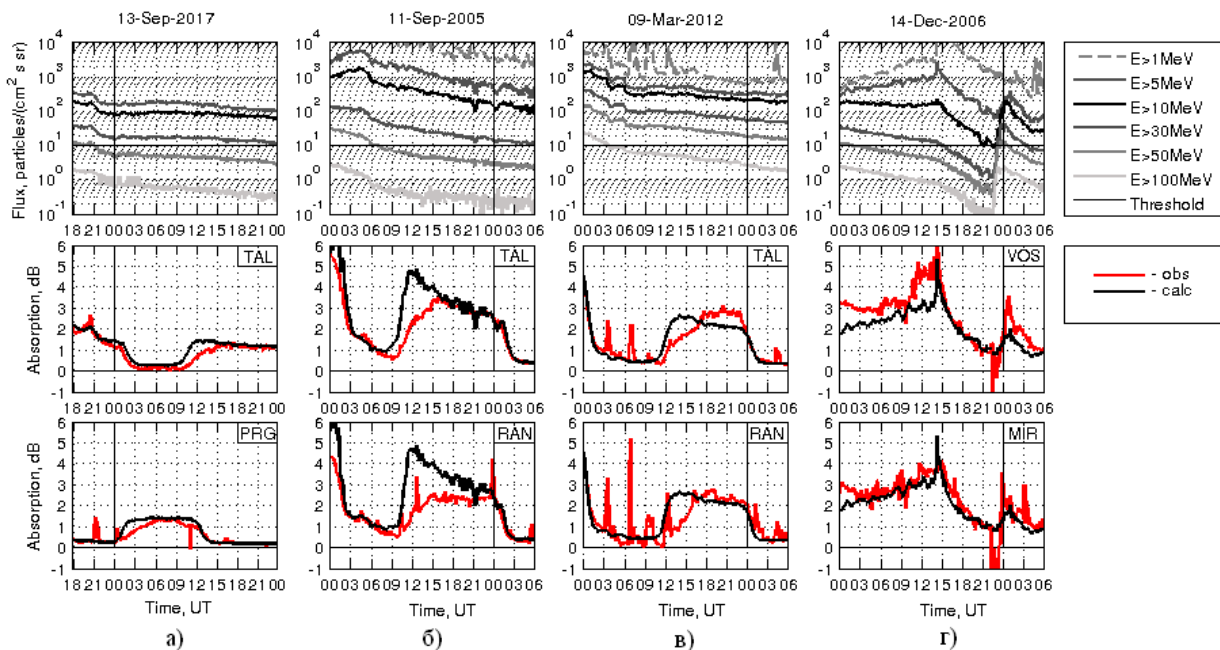


Рисунок 1. Потоки протонов, экспериментальные и модельные значения поглощения по данным риометров Северной и Южной полярной шапок для ППШ в сезон равноденствия (панели а, б и в) и в летний сезон (панель г).

Центральная часть МО при движении от Солнца находится в плоскости солнечного экватора, а внешняя область МО – выше и ниже этой плоскости. Таким образом МПз и МПо располагаются соответственно «в» и «вне» плоскости солнечного экватора. В сезоны солнцестояния (в частности в местный летний сезон) Земля находится в плоскости солнечного экватора. Когда МО достигает орбиты Земли хвост магнитосферы попадает в центральную область МО, состоящую из МПз с ППзп \leq ППвп [Malandraki et al., 2002a]. При пересоединении МПз с хвостом магнитосферы ППзп/ППвп движутся вдоль западной/восточной стороны хвоста и проникают соответственно в утренний/вечерний сектора ПШц. Так как ППзп и ППвп примерно одинаковы, то они вызывают примерно одинаковые значения поглощения типа ППШ в утреннем/вечернем секторах ПШц (ППШу \leq ППШв). В результате УП не проявляется.

В равноденственные сезоны года Земля находится примерно на $\pm 7^\circ$ выше/ниже плоскости солнечного экватора. Когда МО достигает орбиты Земли, хвост магнитосферы попадает во внешнюю область МО, в которой находятся МПо [Malandraki et al., 2002b] с ППЗп \ll ППВп. Поэтому при пересоединении МПо с хвостом магнитосферы в утренний/вечерний сектор ПШц проникают ППЗп/ППВп соответственно малой/большой интенсивности, которые вызывают слабое утреннее/сильное вечернее поглощение ППШу \ll ППШв. В результате регистрируется эффект УП большой амплитуды.

Заключение

Проанализированы экспериментальные примеры проявления эффекта УП в разные сезоны года и установлено, что эффект УП проявляется в ППШ, происшедших в равноденственные сезоны года, и отсутствует в летнем ППШ. Предложено следующее объяснение этой связи.

В равноденственные / летние сезоны Земля (хвост магнитосферы) находится выше (или ниже) / в плоскости солнечного экватора и попадает в область МПо/МПз, в которых ППЗп \ll ППВп / ППЗп \leq ППВп. Поэтому в равноденственные сезоны года при ППЗп \ll ППВп в утреннем / вечернем секторе ПШц возникает малое/большое поглощение ППШу/ППШв и т.о. эффект УП проявляется. В летний сезон года при ППЗп \leq ППВп в утреннем /вечернем секторе ПШц возникает примерно равное поглощение и т.о. эффект УП отсутствует или имеет малую амплитуду.

Литература

- Malandraki O.E. et al. (2002a), Solar energetic particles inside a coronal mass ejection event observed with the ACE spacecraft, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64: 517-525.
- Malandraki O.E., Trochoutsos P. and Sarris E. (2002b), Magnetic topology of in and out of the ecliptic ICMEs: ULYSSES/HI-SCALE and ACE/EPAM Energetic particle observations, 34th COSPAR Scientific Assembly, The Second World Space Congress held 10-19 October 2002 in Houston USA, meeting abstract, id. 93.
- Sauer H.H., Wilkinson D.C. (2008), Global mapping of ionospheric HF/VHF radio wave absorption due to solar energetic protons, *Space Weather*, № 6, S12002.
- Дриацкий В.М., Природа аномального поглощения космического радиоизлучения в нижней ионосфере высоких широт. Л.: Гидрометеиздат, 1974, 224 с.
- Рогов Д.Д., Заалов Н.Ю., Москалева Е.В., Ульев В.А. (2015), Моделирование влияния поглощения полярной шапки на распространение КВ радиоволн в арктическом регионе России, Сборник трудов XIV конференции молодых ученых «Взаимодействие полей и излучения с веществом», г. Иркутск, 2015, С. 184-187.
- Ульев В.А., Рогов Д.Д., Франк-Каменецкий А.В. (2019), Эффект утренне-дневной аномалии (УДА) во время поглощения типа полярной шапки (ППШ) в сентябре 2017г., "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XLII Annual Seminar, Apatity, pp. 194-197, 2019. ©Polar Geophysical Institute, 2019.