

DOI: 10.51981/2588-0039.2023.46.035

ЭФФЕКТ ПОЛУДЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ (ПВ) ВО ВРЕМЯ ППШ В ПЕРИОД ГЛАВНОЙ ФАЗЫ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ

В.А. Ульев, С.Н. Шаповалов, Д.Д. Рогов

ААНИИ, Отдел Геофизики, СПб; e-mail: vauliev@yandex.ru

Аннотация. По риометрическим наблюдениям во время ППШ на высокоширотной авроральной станции Амдерма (расположенной в Северном полушарии в середине авроральной зоны) рассмотрены случаи проявления эффекта полуденного восстановления (ПВ) при низком и высоком уровнях геомагнитной активности (ГА) в период главной фазы геомагнитной бури (ГБгф).

Отмечено существенное различие характеристик ПВ при низком и высоком уровнях ГА (соответственно ПВн и ПВв). Особенности вариации ПВв при высоком уровне геомагнитной активности ($Dst \infty -60nT$) (в период главной фазы геомагнитной бури – ГБгф) по сравнению с вариацией поглощения ПВн во время низкого уровня ГА ($Dst \infty -20nT$) следующие: (1) вариация поглощения во время ПВв – пикообразный спад, с резкими градиентами уменьшения и возрастания поглощения / во время ПВн – плавная, синусоидальная вариация; (2) общая длительность ПВв – около 6 часов /ПВн – около 10 часов); (3) продолжительность фазы спада и возрастания ПВв примерно одинаковая и составляет около 3-х часов /ПВн – разная и составляет около 4 и 6 часов (соответственно фаза спада и возрастания); (4) продолжительность фазы минимума ПВв – около 1 часа / ПВн – около 4 часов); (4) амплитуда ПВв – $M \infty 0.7$ /ПВн – $M \infty 0.5$).

Рассмотрены расчётные данные изменения топологии интенсивности кольцевого тока (КТ) при низком и высоком уровне ГА (в период ГБгф) [3].

Предполагается, что значительное различие характеристик ПВв в период ГБгф по сравнению с характеристиками ПВн в период низкого уровня ГА, обусловлено развитием асимметричного плазменного кольцевого тока (КТ) в период ГБгф.

Введение

Во время некоторых явлений ППШ на станциях авроральной зоны регистрируется понижение поглощения в местные полуденные часы, которое названо эффектом полуденного восстановления (ПВ или MDR – midday recovery) [1]. Общепринятой является точка зрения, что ПВ обусловлено суточной вариацией жёсткости геомагнитного обреза (СВЖГО). Кроме того, было высказано предположение, что на проявление ПВ может влиять развитие анизотропии пичч-углового распределения потоков протонов в конусе потерь [1, 2].

В данной работе сопоставлены характеристики проявления ПВ при низкой ГА и высокой ГА (в период главной фазы геомагнитной бури – ГБгф). Предлагается физическое обоснование существенного различия этих характеристик.

Экспериментальные данные

На рис.1 представлена вариация ППШ по данным наблюдений на ст. Амдерма за период 19 – 21 марта 1990г. и вариация уровня ГА по индексу Dst за тот же период. Видно, что 20 марта в часы близкие к местному полудню наблюдается плавное уменьшение поглощения – эффект полуденного восстановления (ПВ). В этот день уровень геомагнитной активности невысокий ($Dst \infty -20nT$). Основные характеристики эффекта ПВ при низком уровне ГА (ПВн) следующие: (1) плавный синусоидальный характер вариации уменьшения поглощения; (2) большая общая длительность – около 10ч; (3) длительность фазы минимума (Дмин) – около 4ч; (4) амплитуда уменьшения поглощения (М) – около 50%.

На рис. 2 представлена вариация ППШ по данным наблюдений на ст. Амдерма за период 19 – 21 сентября 1977г. и вариация уровня ГА по индексу Dst за тот же период. Видно, что 20 сентября в часы близкие к полудню наблюдается спад поглощения т.е. эффект полуденного восстановления (ПВ). В этот день уровень геомагнитной активности достаточно высокий ($Dst \infty -60nT$) и наблюдается главная фаза геомагнитной бури (ГБгф) с максимумом $Dst = -90 nT$. Т о. данный эффект ПВ проявляется при высоком уровне ГА на главной фазе ГБ (ГБгф). Основные характеристики эффекта ПВ при высоком уровне ГА (ПВв) следующие: (1) резкие градиенты снижения и восстановления поглощения; (2) сравнительно короткая общая длительность – около 6ч; (3) длительность фазы минимума (Дмин) – около 1ч; (4) амплитуда уменьшения поглощения (М) – около 70%.

Для обоснования существенного различия характеристик ПВн и ПВв рассмотрены результаты модельного расчёта давления плазмы кольцевого тока (КТ) во время ГБ 11 апреля 1997г с максимумом КТ по индексу $Dst = -90 nT$, полученные в работе [3].

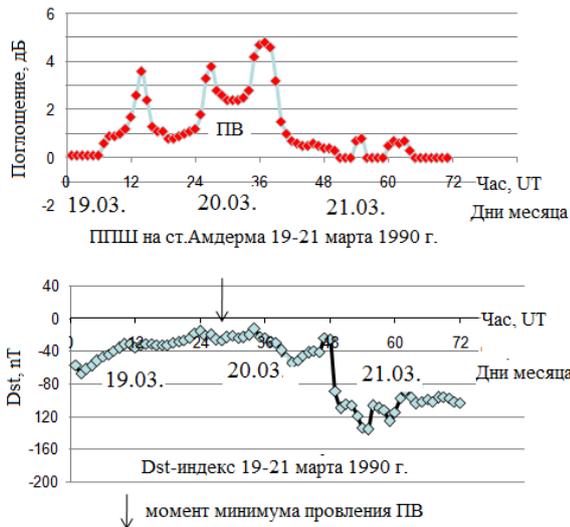


Рисунок 1.

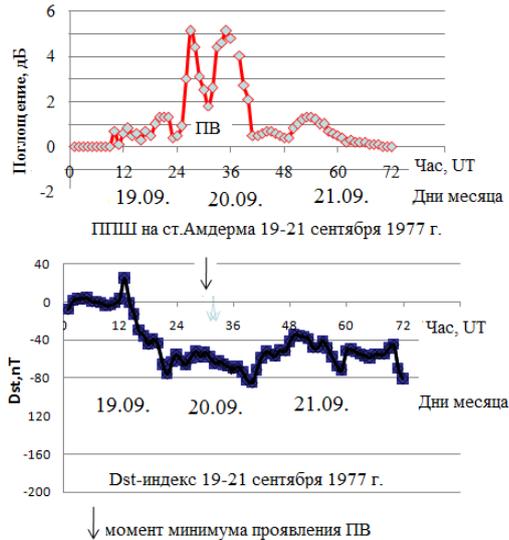
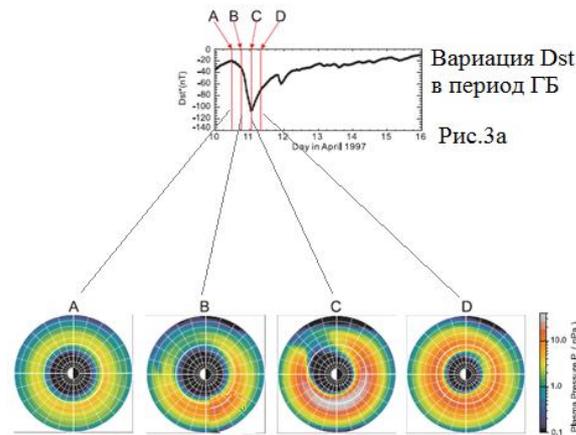


Рисунок 2.

На рис. 3а представлена обобщённая вариация ГА (по индексу Dst) в период геомагнитной бури (ГБ) 10 – 15 апреля 1997. На этом рисунке отмечены 4 момента времени на разных фазах ГБ (А, В, С, D). Для этих моментов времени представлены (в полярной проекции) расчётные значения давления плазмы кольцевого тока (КТ) на разных фазах ГБ (рис.3б) [3]. В момент А (до начала ГБ) давление плазмы КТ имеет примерно одинаковые невысокие значения, т.е. в этот момент КТ азимутально симметричен. В моменты начала и максимума ГБ (В, С) интенсивность давления плазмы почти по всем азимутам – повышенная. Однако на определённых азимутах (08 – 12 MLT и 09 – 11 MLT соответственно в начале и в максимуме ГБ) – моменты В и С) давление плазмы КТ пониженное, т.е. КТ является асимметричным. В момент D на фазе восстановления ГБ (ГБвф) – значения КТ повышенные и одинаковые по всем азимутам, т.е. КТ симметричен.



Расчетные значения давления плазмы кольцевого тока на разных фазах ГБ (ГБ-11.04.1997 г. max Dst = 90 нТ)

Рис.3б

Рисунок 3.

Физическое обоснование различия характеристик ПВв и ПВн

После мощных солнечных вспышек в межпланетное пространство выбрасываются потоки ускоренных протонов (ПП). ПП, вызывающие поглощение на риометрах, расположенных на авроральных широтах, проникают в хвост магнитосферы (ХМ) в нейтральный слой на расстоянии около 150 Re. Эти ПП радиально дрейфуют в сторону Земли, достигают замкнутых силовых линий на ночной стороне внутренней магнитосферы и начинают азимутально дрейфовать во внутренней магнитосфере Земли в восточном направлении примерно на расстоянии около 3 – 6 Re, постепенно высыпаясь в нижнюю ионосферу и вызывая поглощение фонового галактического коротковолнового радиоизлучения, которое регистрируется наземными приборами – риометрами. Эффект ПВ возникает в том случае, если в ионосферу над пунктом наблюдения в местные предполуденные часы высыпается поток протонов (ПП) малой интенсивности по сравнению с ПП, высыпаящимся в другие часы местного времени.

При низком уровне ГА эффект ПВ (ПВн) возникает вследствие наличия процесса суточной вариации жёсткости геомагнитного обрезания (СВЖГО). Наличие СВЖГО обусловлено поджатием силовых линий магнитного поля в лобовой части магнитосферы. Поджатие вызывает смещение дрейфующих ПП низких энергий на более внешние оболочки в дневном секторе и исключение этих низкоэнергичных ПП из формирования поглощения в пункте наблюдения в полуденные часы, тогда как в другие часы низкоэнергичные ПП вносят вклад в поглощение. В результате поглощение в полуденные часы имеет пониженное значение по сравнению с поглощением в другие часы, что и проявляется как эффект ПВ. Т.о. 20 марта 1990г. эффект ПВн обусловлен процессом СВЖГО.

При высоком уровне ГА (в период главной фазы геомагнитной бури – ГБгф) поджатие силовых линий усиливается, и амплитуда СВЖГО увеличивается. С другой стороны, возникает новый аспект, влияющий на динамику ПП. В экваториальной плоскости на расстоянии 3 – 6 Re возникает интенсивный плазменный кольцевой ток (КТ) асимметричного характера: на азимуте 0 – 90° к западу от меридиана полдень-полночь (или в часах 09 – 12 MLT) интенсивность КТ пониженная, а на других азимутах повышенная (см. рис. 36В и 36С).

В плазме КТ существуют турбулентные волны. Эти волны взаимодействуют с дрейфующими потоками протонов (ПП) (гирорезонансное взаимодействие волна-частица). При этом происходит изменение питч-углов частиц (ПП) вследствие питч-углового рассеяния (ПУР) ПП, высыпаящихся в конус потерь.

Если плазма КТ имеет малую плотность, то интенсивность турбулентных волн слабая и происходит слабое изменение питч-углов ПП. В этом случае ПП с питч-углами около 90° не проникают глубоко в ионосферу, т.е. конус потерь становится анизотропным. При таком анизотропном питч-угловом распределении ПП в конусе потерь, в нижнюю ионосферу проникает ПП малой интенсивности (вследствие отсутствия ПП с питч-углами около 90°) и поглощение имеет малую величину. Если плазма КТ имеет большую плотность, то происходит сильное питч-угловое рассеяние ПП с любыми питч-углами. В результате конус потерь становится изотропным, в нижнюю ионосферу проникает большой ПП и поглощение имеет большую величину. Т.о. азимутальное изменение интенсивности КТ, может вызвать суточную вариацию ПУР ПП в конусе потерь и суточную вариацию поглощения, т.е. эффект ПВ.

Данные на рис. 2 показывают, что эффект ПВв проявился во время ГБ (19 – 20 сентября 1977г.) примерно в середине главной фазы (ГБгф) при $Dst \infty -60nT$. Согласно расчётным данным (проведённым для ГБ – 11.04.1997 г. [3]) (рис. 3) величина $Dst \infty -60nT$ соответствует состоянию плазмы КТ (при ГБ 1997г.) между тем, что представлено на рис. 36В и на рис. 36С, а именно пониженным значениям давления плазмы КТ. Следовательно возможный реальный КТ (20 сентября 1977г.) асимметричен и имеет пониженную интенсивность на азимуте около 45° к западу от оси полдень-полночь (или в часах около 10 – 11 MLT). Поэтому можно предположить, что момент минимума эффекта ПВв (около 11 MLT 20 сентября см. рис. 2) обусловлен анизотропным ПП. Тогда как за временными границами эффекта ПВ интенсивность плазмы КТ имеет повышенные значения (вне азимута 0 – 90°) и поглощение обусловлено ПП с изотропным питч-угловым распределением. Поэтому 20 сентября 1977г. эффект ПВв зависит не только СВЖГО, но и суточной вариации питч-углового рассеяния (СВПУР).

Т.о. анализ показывает, что эффект ПВн обусловлен процессом СВЖГО, а эффект ПВв – как процессом СВЖГО, так и СВПУР, при этом, учитывая существенное различие характеристик ПВв и ПВн, основную роль в появлении ПВв играет процесс СВПУР.

Заключение

(1) Рассмотрены примеры регистрации ПВ при низком и высоком уровне ГА (в период ГБгф) (соответственно ПВн и ПВв) и описаны особенности проявления ПВв (во время ГБгф) по сравнению с проявлением ПВн (при низком уровне ГА).

(2) Проявление ПВн обусловлено процессом суточной вариации жёсткости геомагнитного обрезания (СВЖГО).

(3) Особенности проявления ПВв объяснены как результат развития асимметричного КТ во время ГБгф, который приводит к развитию суточной вариации питч-углового рассеяния (СВПУР) потоков протонов в конусе потерь.

(4) В целом эффект ПВв обусловлен как процессом суточной вариации жёсткости геомагнитного обрезания (СВЖГО), так и процессом суточной вариации питч-углового рассеяния (СВПУР), возникающим вследствие развития асимметричного КТ в период ГБгф, при этом основную роль играет процесс СВПУР.

Литература

1. Leinbach H., Midday recoveries of polar cap absorption. J. Geophys. Res., v. 72, p. 5473, 1967.
2. Williams D.J., Huring F.T. Strong Pitch Angle Diffusion and Magnetospheric Solar Protons. J. Geophys. Res., v. 78, n. 1, 1973.
3. Ebihara Y., Ejiri M. Numerical Simulation of the Ring current Space Science Reviews. v. 105, p. 377, 2003.