

ВЛИЯНИЕ СЕВЕРНОГО ЛЕТНЕГО ПОЛУШАРИЯ НА СТРУКТУРУ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ ЮЖНОГО ЗИМНЕГО ПОЛУШАРИЯ

А.Т. Карпачев

ИЗМИРАН, 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, 4

E-mail: karp@izmiran.ru

Аннотация. Обнаружено сильное влияние северного летнего полушария на структуру ионосферы южного зимнего полушария в области главного ионосферного провала (ГИП). Восход Солнца в северном полушарии вызывает поток фотоэлектронов в южное полушарие, где образуется пик ионизации. Этот пик либо заполняет ГИП, либо делит его на два минимума, образуя формально два провала. В послеполуденные/вечерние часы в обоих полушариях формируются пики на экваториальной стенке ГИП, связанные с поляризационным джетом. Вследствие долготного эффекта в положении провалов пик в северном полушарии может сформировать пик в минимуме южного ГИП, также разделяя его на два провала. Истечение плазмы под действием термодиффузии из минимума северного ГИП также приводит к образованию пика в южном ГИП. Вследствие долготного эффекта этот пик оказывается на полярной стенке южного ГИП в западном полушарии и на экваториальной стенке в восточном полушарии. Иногда пики в южном полушарии связаны с неглубокими минимумами ионизации в северном полушарии, что вероятно обусловлено действием амбиполярной диффузии и(или) электрического поля. Тесная сопряженность полушарий сильно затрудняет интерпретацию наблюдений в обоих полушариях. Требуется кардинальный пересмотр характеристик зимнего ГИП.

Ключевые слова: главный ионосферный провал; авроральные диффузные высыпания, пик ионизации, поляризационный джет, сопряженность

IMPACT OF THE NORTHERN SUMMER HEMISPHERE ON THE STRUCTURE OF THE HIGH-LATITUDE IONOSPHERE OF THE SOUTHERN WINTER HEMISPHERE

A.T. Karpachev

Abstract. Strong influence of the northern summer hemisphere on the structure of the ionosphere of the southern winter hemisphere in the main ionospheric trough (MIT) region was found. The sunrise in the northern hemisphere causes a flow of photoelectrons into the southern hemisphere, where an ionization peak is formed. This peak either fills the MIT, or divides it into two minima, formally creating two troughs. In the afternoon/evening hours, peaks are formed on the MIT equatorward wall in both hemispheres, associated with the polarization jet. Due to the longitudinal effect in the troughs position the peak in the northern hemisphere can form the peak in the minimum of the southern MIT splitting it into two troughs. The outflow of plasma under the action of thermo-diffusion from the northern MIT minimum also leads to the formation of a peak in the southern MIT. Due to the longitudinal effect, this peak occurs on the poleward wall of the southern MIT in the western hemisphere and on the equatorward wall in the eastern hemisphere. Sometimes the well-defined peaks in the southern hemisphere are associated with shallow ionization minima in the northern hemisphere, probably due to diffusion and (or) electric field effects. The close interhemispheric interaction makes it very difficult to interpret observations in both hemispheres. A fundamental revision of the winter MIT characteristics is required.

Keywords: main ionospheric trough; auroral diffuse precipitation; ionization peak, polarization jet; conjugacy

Введение

Главный ионосферный провал (ГИП) был обнаружен Muldrew [1965] и детально описан в обзоре [Rodger et al., 1992]. Анализ данных спутника CHAMP позволил обнаружить постоянное и сильное влияние летнего северного полушария на структуру зимнего южного ГИП. Это влияние определяется несколькими факторами. Оказалось, в частности, что восход Солнца в северном полушарии формирует пик ионизации в южном полушарии под действием потока фотоэлектронов вдоль силовой линии геомагнитного поля. Эффект хорошо известен, однако удивительно, насколько постоянно он реализуется на широтах южного ГИП в околополуденные часы. В послеполуденные/вечерние часы местного времени часто образуются интенсивные пики ионизации экваториальнее ГИП, которые, как считается, связаны с Subauroral Polarization Stream (SAPS) [Foster, 1993; Aa et al., 2024]. Эти пики

образуются во время возмущений в обоих полушариях одновременно, но обычно они не совпадают по широте, что может приводить к интересным эффектам, например, к раздвоению провала. Точно также минимумы провалов в северном и южном полушариях довольно сильно расходятся по широте вследствие долготного эффекта. Если пик температуры электронов T_e в минимуме ГИП выше, чем температура в сопряженном полушарии, возникает поток термодиффузии, также формирующий пик f_p в сопряженном полушарии. Электронная концентрация в летнем северном полушарии обычно намного выше, чем в южном зимнем. В результате должен возникать поток амбиполярной диффузии из северного в южное полушарие. Эти и другие проявления сопряженности полушарий рассматриваются в данной статье на основе детального анализа большого массива данных спутника CHAMP (7000 витков).

Данные

В работе использованы данные по электронной плотности на спутнике CHAMP за период летнего солнцестояния в период высокой солнечной активности 2000-2002 г. (<https://isdc.gfz-potsdam.de/champ-isdc/>). Данные представлены в терминах плазменной частоты f_p на высотах спутника 450-300 км. Использована также модель аврорального овала [Vorobjev et al., 2013].

Восход Солнца в сопряженном северном полушарии

На рис.1 приведены широтные профили f_p , полученные 17-18 августа 2000 г. в южном и сопряженном северном полушарии в околополуночной ионосфере. В этот период в северном летнем полушарии наблюдается восход Солнца, в зависимости от долготы на разных геомагнитных широтах. Для наглядности на рис.1, были отобраны случаи, когда восход тяготел к полярной стенке провала (а), наблюдался в минимуме провала (б), и на его экваториальной стенке (с). Штриховыми кривыми в южном полушарии приведены наиболее вероятные неискаженные профили f_p . Из рис.1а видно, что пик f_p вблизи полярной стенки полностью заполнил зимний провал. Еще сложнее для анализа ситуация на рис.1б, поскольку совершенно непонятно, какой минимум f_p считать минимумом ГИП. Таким образом, в обоих случаях положение зимнего провала является неопределенным. Но это становится очевидным только при рассмотрении ситуации в обоих полушариях, анализ только одного южного полушария будет приводить к большим ошибкам в определении положения провала. Пик ионизации на экваториальной стенке ГИП (рис.1с) сдвигает минимум ГИП к полюсу.

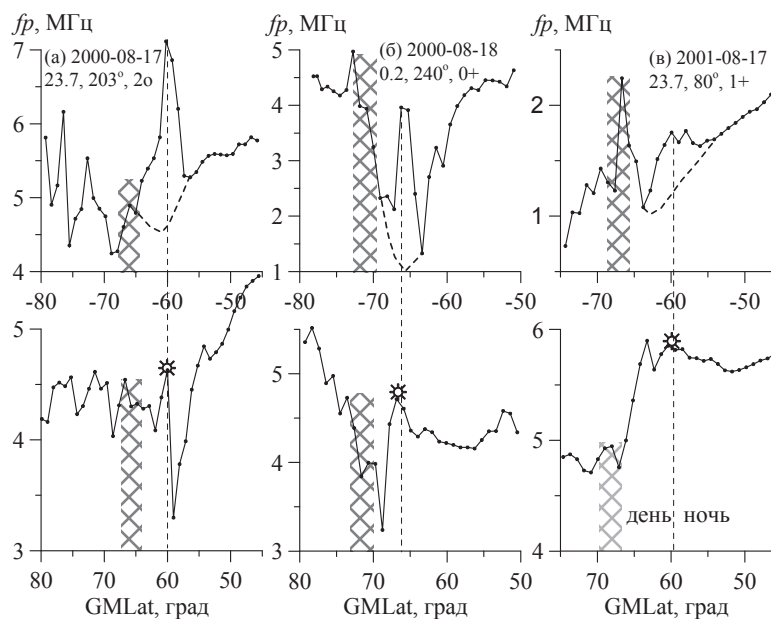


Рис. 1. Образование солнечного пика f_p на полярной стенке провала (а), в минимуме (б) и на экваториальной стенке (с). Для каждого случая приведены дата, местное время и долгота в минимуме провала, а также Кр-индекс геомагнитной активности. Зона I диффузных высыпаний заштрихована согласно текущим значениям Кр индекса, LT и долготы [Vorobjev et al., 2013]

Послеполуденный/вечерний пик ионизации

После полудня на экваториальной стенке ГИП регулярно наблюдается интенсивный пик f_p . Этот пик описан в работах [Foster, 1993; Aa et al., 2024]. Предполагается, что он создается во время геомагнитных возмущений под действием нейтрального ветра, направленного к экватору и электрического поля, направленного к полюсу. Обе причины поднимают слой F2 вверх, образуя Storm Enhanced Disturbance (SED). SED выносятся в дневной сектор под действием Sub-Auroral Polarization Stream (SAPS). На рис.2 приведены три разреза f_p , полученные 11 августа 2002 в раннем вечернем секторе ионосферы после повышенной геомагнитной активности. На всех трех витках в обоих полушариях наблюдаются пики f_p на экваториальной стенке провала. На последнем витке (рис.2с) максимум пика в северном полушарии оказался в минимуме южного ГИП. Поскольку значение f_p в максимуме северного пика более чем в 3 раза выше, чем в минимуме южного провала, диффузионный поток создал узкий пик в минимуме провала. Провал оказался разделенным этим пиком на две части. Такие случаи наиболее часто наблюдаются в послеполуденном-вечернем секторе, что сильно затрудняет интерпретацию наблюдений.

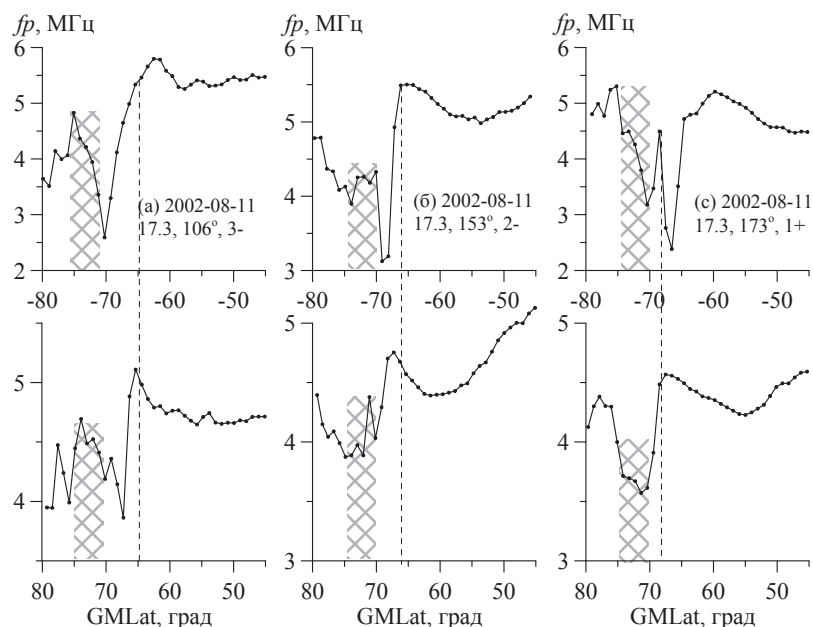


Рис. 2. Широтные профили f_p в вечерней ионосфере с пиками ионизации экваториальнее ГИП

Пик в южном полушарии, связанный с провалом в северном полушарии

На рис.3 приведено три примера, на которых провал в северном полушарии связан с мощным пиком f_p в южном полушарии. Первые два примера относятся к утренним часам, третий – к вечерним часам. Во всех случаях пики f_p примыкают к полярной стенке провала и поэтому сдвигают минимум ГИП к экватору, как показывает предполагаемая штриховая кривая на рис.3а. На рис.3б приведен более сложный пример, когда с провалом в южном полушарии также связан пик в северном полушарии. Штриховой кривой на рис.3с приведена температура электронов T_e . В минимуме южного ГИП как обычно образуется пик T_e , поскольку чем меньше электронов, тем больше тепла приходится на один электрон и тем выше его температура. К полюсу температура резко падает, а затем снова растет в авроральном овале в результате высыпаний энергичных частиц. В минимуме северного летнего провала T_e на $\sim 1000^\circ$ выше, чем на сопряженной широте в южном полушарии. Эта разница является, по-видимому, драйвером термодиффузии, которая выносит плазму в южное полушарие и создает пик f_p . Этот механизм будет эффективно действовать только тогда, когда провалы в обоих полушариях не сопряжены. И действительно, все три примера на рис.3 были записаны на долготах западного полушария, где провал в северном полушарии расположен полярнее, чем в южном. Именно тогда пик T_e в северном полушарии приходится на зазор (минимум T_e) в южном полушарии. Однако на рис.3б наблюдается также и обратная ситуация - когда минимум

южного ГИП расположен на экваториальной стенке северного ГИП, где температура T_e также низкая. Однако в северном полушарии формируется гораздо менее выраженный пик f_p .

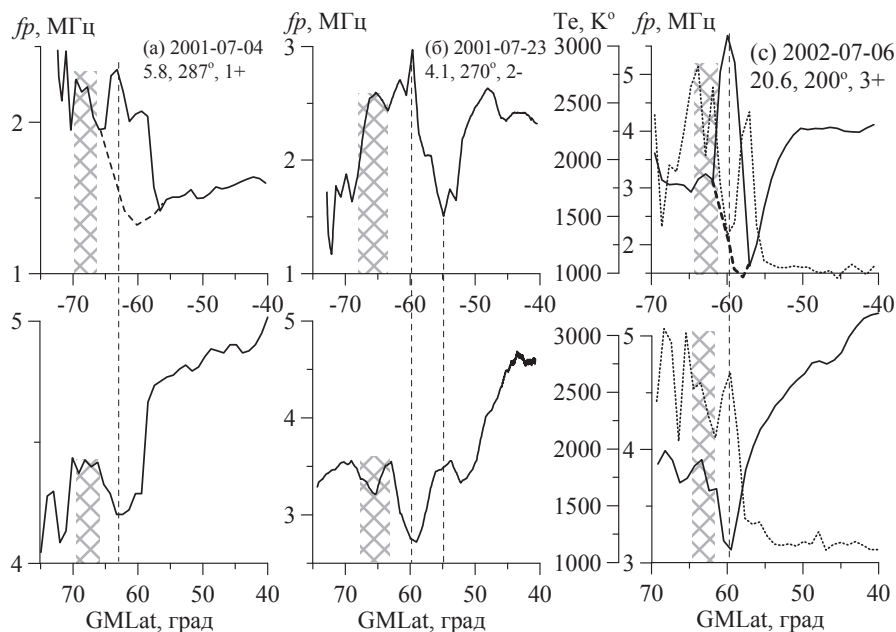


Рис. 3. Влияние северного ГИП на структуру южного ГИП под действием термодиффузии

Заключение

Выше приведено несколько случаев сопряженности полушарий. В действительности таких случаев настолько много, что можно говорить о постоянной тесной связи субавроральной ионосферы северного и южного полушарий. Эта связь определяется разными механизмами. Восход Солнца в летнем северном полушарии вызывает поток фотоэлектронов в сопряженное полушарие, который приводит к формированию пика ионизации. В послеполуночном/вечернем секторе при повышенной геомагнитной активности в обоих полушариях образуются пики ионизации на экваториальной стенке ГИП. Эти пики отображаются в сопряженном полушарии под действием диффузии. Наконец пик температуры электронов в минимуме летнего ГИП при определенных условиях может сформировать плазменный пик в южном полушарии за счет термодиффузии. Таким образом, северное летнее полушарие сильно влияет на структуру субавроральной ионосферы южного полушария, т.е. на структуру зимнего ГИП.

Благодарности

Автор благодарит спонсоров и операторов миссии CHAMP; Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) Potsdam and German Aerospace Center (DLR).

Список литературы

1. Aa E., Dzwil P., Zhang S.□R., Erickson P.J. A statistical analysis of the morphology of storm□enhanced density plumes over the North American sector // J. Geophys. Res. – 2024. – Vol. 129. – e2024JA032750.
2. Foster J.C. Storm time plasma transport at middle and high latitudes // J. Geophys. Res. – 1993. – Vol. 98. – P. 1675–22650.
3. Muldrew D. B. F-layer ionization troughs deduced from Alouette data // J. Geophys. Res. – 1965. – Vol.70. – P. 2636–22650.
4. Rodger A.S., Moffett R.J., and Quegan S., 1992. The role of ion drift in the formation of ionisation troughs in the mid-and high-latitude ionosphere – a review // J. Atm. Terr. Phys. – 1992. – Vol. 54. – P. 1–30.
5. Vorobjev V.G., Yagodkina O.I., and Katkalov Yu.V. // Auroral Precipitation Model and its applications to ionospheric and magnetospheric studies // J. Atm. Sol.–Terr. Phys. – 2013. – Vol. 102. – P. 157–171.