



DOI: 10.51981/2588-0039.2022.45.008

ТЕРМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ, ОПЕРЕЖАЮЩИЕ МАГНИТНЫЕ, КАК КРАТКОСРОЧНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ ПРОГНОЗА МАГНИТНЫХ БУРЬ

Э.Г. Мирмович, к.ф.-м.н., доцент

ГБПОУ МО «Колледж «Подмосковье», Москва, Россия; e-mail: mirmovich1940@mail.ru

Аннотация

Обсуждается возможность использования в прогностических целях обнаруженного автором при анализе активного периода в августе в 1972 году и широко обсуждаемого в отечественной и зарубежной литературе вот уже 35 лет эффекта возрастания плазменной частоты в главном максимуме ионосферы перед геомагнитными бурями.

Ключевые слова: термосферно-ионосферное возмущение, «термосферное цунами», верхняя атмосфера, источник ионизации, дневной касп, солнечная вспышка, предвестник, прогноз, Ю.И. Гальперин.

Введение

Как-то на симпозиуме COSPAR во время доклада одного из учёных об обнаруженных им фактах опережения начала магнитной бури положительными ионосферными возмущениями профессор Ю.И. Гальперин, 90-летие которого отмечалось в Институте космических исследований РАН в 2022 году, воскликнул: «So, it is entirely, completely Mirmovich!» (Так, это же сплошной Мирмович), а присутствовавший и там, и на защите диссертации автора настоящей статьи в качестве члена Диссертационного совета СибИЗМИР (Иркутск) профессор Э.С. Казимировский этот случай рассказал автору.

Цели настоящей работы:

- а) восстановить приоритет открытия;
- б) представить концепцию авторского объяснения явления, убрав из его дефиниции термин «предштормовой» и привязав это явление к солнечным вспышкам, а не к магнитным бурям, и исключительно дневному времени;
- в) отнести этот эффект не к ионосферно-магнитным или даже магнитно-ионосферным, а к введенным автором ранее в научный обиход термосферно-ионосферным возмущениям;
- г) показать, что в определённых условиях при учёте циркуляции, способствующей или препятствующей поступлению дополнительного материала на дневную сторону термосферы, этот эффект может служить независимым краткосрочным предвестником начала магнитной бури.

Материалы и концепция работы

При исследовании периода 2–11 августа 1972 года, уникального по интенсивности солнечной деятельности в 20-м цикле солнечной активности, который сопровождался цепочкой солнечных хромосферных вспышек класса X, вызвавших, соответствующие эффекты в области E и D дневной ионосферы, автором было обнаружено абсолютно новое в гелиогеофизических исследованиях явление. Оно состояло в том, что в дневное время в области F ионосферы отмечались положительные возмущения (ПВ) сразу после солнечных вспышек и до геомагнитных бурь как с внезапным (SSC-эффект), так и с постепенным началом, которые следовали за ПВ. Этот эффект был отмечен, проиллюстрирован и опубликован в статье [1], а также в ряде последующих работ 1978–1981 гг., защищен диссертацией в качестве защищаемого положения [2]. Практически одновременно аналогичный эффект в предштормовой интерпретации заметил по данным наблюдений в приэкваториальной ионосфере бразильский исследователь ионосферы и геомагнитного поля R.P. Kane [3], хотя на специфику эффекта не обратил внимания. Актуальность и научная ценность этого открытия подтверждается более поздними работами многих авторов с признанием отсутствия физической модели и адекватного объясняющего механизма данного явления, например, [4–10].

В работе [5] от 2019 года авторами представлен обстоятельный обзор проблемы по > 40 библиографическим источникам. Однако, несмотря даже на наличие совместной работы по этой теме с автором [11], ни в этой, ни в других работах отечественных (например, Д.В. Благовещенский, А.В. Михайлов и мн. др.) и зарубежных исследователей ионосферы (например, L. Liu et al., B.J. Adegoya, J. Laštovička и мн. др.) ссылок на работы [1, 2] нет. В работе [7] на основании концептуального анализа публикаций, посвященных предбуревым возрастаниям NmF2, сделан вывод, что нет убедительных аргументов в пользу связи наблюдаемых случаев

таких положительных возмущений ионосферы на средних и субавроральных широтах с последующими магнитными бурями.

Автором этот эффект был связан не с электроджетами и джоулевым разогревом в авроральном овале, а с работой дневного каспа и с событиями в полярной шапке, что было подтверждено измерениями высыпаний мягких электронов в эту уникальную магнитосферную «воронку» Ю.И. Гальпериным, что в свою очередь указывает на отсутствие строгой привязки таких ПВ к магнитной буре, также как она напрямую не зависит от РСА.

Детерминизм солнечно-земных связей (СЗС) представляет собой как минимум четырёхствольное «дерево», корнем которого является хромосферная вспышка (ХВ). Два ствола начинают свою «работу» через 8 минут, когда ультрафиолетовое и рентгеновское излучение (УФИ, РИ) достигают верхней атмосферы Земли (ВА), где осуществляются ядерно-химические реакции (ЯХР), а другие два – через сутки-двое по прибытии возмущённого солнечного ветра (ВСВ) и солнечных космических лучей (СКЛ), содержащих нейтроны (N), участвующие в ЯХР.

Термосферно-ионосферные возмущения (ТИВ), введенные автором как самостоятельный термин в виде альтернативы ионосферно-магнитным возмущениям (например, в [12, 13]), хотя и их следовало бы называть магнитно-ионосферными (МИВ), а не ионосферно-магнитными [6], порождаемые воздействием источников ионизации на нейтральный буст-возмущение состава (атомного O), обладают одной фундаментальной особенностью: отдельный их тип может наблюдаться за часы, а то и сутки до начала магнитной бури.

Исследованию послевспышечных положительных ТИВ (ПТИВ) способствовали бы внешнее зондирование ионосферы со спутника + регистрация ТЕС во время ХВ, вызвавшей полное поглощение в области D-ионосферы и «эффект Деллинжера» (ЭД). Объяснение генерации таких ПТИВ может находиться в рамках двух ветвей «дерева» СЗС: ХВ → УФИ+РИ+N(СКЛ) → ВА → ЯХР и ХВ → ВСВ → CUSP. Обе эти ветви участвуют в изменении состава ВА в пользу увеличения концентрации атомной составляющей и формирования переноса её в сторону экватора с большими скоростями, названного автором «термосферным цунами».

Прогностический потенциал послевспышечных ПТИВ, опережающих начала магнитной бури

Среди «предикторов» особую ценность представляют краткосрочные предвестники любых возмущений и катастроф, каковыми по последствиям бывают и магнитные бури.

Рассматриваемая в данной работе проблема в основном сформулирована в работах автора [14, 15], а основы прогнозирования и источники ТИВ – в работе [16].

Вообще-то такое «термосферное цунами», наплываемое на невозмущенное состояние верхней атмосферы, её нейтросферы, может создаваться разными источниками, включая акустические, акустико-гравитационные и внутренние волны, появляющиеся на границе двух сред, которой могут быть перепады плотности, градиенты, различные джеты – струйные течения [12, 13, 16]. Но в качестве краткосрочного предвестника магнитной бури может служить лишь один тип ПТИВ, первичным источником которых является дневной касп магнитосферы [17]. Кроме того, следует также отметить, что УФИ и РИ отдельных солнечных вспышек ионизует нейтральную составляющую верхней атмосферы вплоть до $h \geq 600$ км, что предсказывалось теоретически [2] и обнаружено в ТЕС. Так, в работе [19] представлены результаты исследования динамики полного электронного содержания ионосферы, вызванного воздействием солнечных вспышек X-класса 6 и 10 сентября 2017 года.

Заключение

1. Настоящая работа устраняет недоразумение в научной литературе, дпящееся десятки лет, которое состоит в том, что любое положительное возмущение ионосферы тестируется на предмет «предбуревоего» характера. А автор обнаружения факта возникновения ПВ ионосферы, опережающего начало магнитной бури, сразу утверждал, что они наблюдаются непосредственно после ХВ и лишь на дневной стороне. Вместо исследования возможностей «работы» УФИ и РИ с нейтросферой в ионизационном и диссоциативном режимах на больших высотах, привлечения нейтронов из СКЛ к ядерно-химическим реакциям как поставщику дополнительного атомного материала в термосферу, где солнечное излучение превратит их в плазму, авторы работ по данной тематике рассматривают все положительные ионосферные возмущения, пытаясь найти или опровергнуть их «предбуревую» миссию, их связь с последующей геомагнитной бурей или суббурей.

2. Никто не сделал выборку по дневным отдельно ПВ и в связи со вспышками, а не авроральной или магнитной активностью.

3. Обсуждаемый эффект – это не ионосферное или ионосферно-магнитное, а термосферно-ионосферное возмущение.

4. Образуюсь задолго до прихода ВСВ, ответственного за магнитную и ионосферную бурю, такое дневное ПТИВ может быть предвестником глобальной магнитной бури. Ранее автор разработал метод

прогноза ТИВ по регрессионному уравнению $NmF2$ и O/N_2 и индексам геомагнитной активности [2], а в данном случае наоборот, по одним ионосферным данным можно предсказывать факт глобальной магнитной бури.

Библиографические источники

1. Mirmovich E.G. Ionospheric Behavior during August 2-11, 1972 derived from data of the ionosphere vertical sounding over Khabarovsk / Report UAG, No.28, WDCenter A, Boulder, Colorado, USA, 1973, part II. P. 557–561.
2. Мирмович Э.Г. Исследование и прогноз термосферно-ионосферных возмущений / Автореф. дисс... канд. физ.-мат. наук. Иркутск. 1981. 23 с.
3. Kane R.P. Storm-time variations of F2 // *Ann. Geophysicae*. V. 29. 1973. P. 25–42.
4. Vlagoveschensky D.V., Kalishin A.S. Increase in the critical frequency of the ionospheric F region prior to the substorm expansion phase // *Geomag. and Aeronom.* 49. 2009. P. 200–209.
5. Константинова А.В., Данилов А.Д. // *Гелиогеофиз. исслед. вып. 22*. 2019. С. 33–51.
6. Mikhailov A.V., Perrone L. Pre-storm $NmF2$ enhancements at middle latitudes: delusion or reality? // *Ann. Geophys.* V. 27. 2009. P. 1321–1330. www.ann-geophys.net/27/1321/2009/
7. Buresova D., Laštovička J. Pre-storm enhancements of f_oF2 above Europe // *Adv. Space Res.* V. 39. 2007. P. 1298–1303.
8. Buresova D., Laštovička J. Pre-storm electron density enhancements at middle latitudes // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* V. 70. 2008. P. 1848–1855.
9. Burke W.J., Huang C.Y., Marcos F.B. Prestorm enhancements in $NmF2$ and total electron content at low latitudes // *J. Geophys. Res.* V. 113. 2008. A02311. doi:10.1029/2007JA012832
10. Prölss G.W. Electron temperature enhancement beneath the magnetospheric cusp // *J. Geophys. Res.* V. 111. 2006. A07304. doi:10.1029/2006JA011618
11. Данилов А.Д., Морозова Л.Д., Мирмович Э.Г. О возможной природе положительной фазы ионосферных бурь // *Геомагн. и аэронаомия*. Т.25, №5. 1985. С. 768–772.
12. Мирмович Э.Г. Термосферно-ионосферные возмущения как отдельный класс возмущений ионосферы / 16-я Всероссийская открытая научная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», М., ИКИ РАН. 2021. С. 193. <https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/PLASMA-2021-AbstractBook-0202.pdf>
13. Мирмович Э.Г. «Три источника – три составные части» генерации термосферно-ионосферных возмущений / «Physics of auroral phenomena». 44th Annual Seminar, 15–19 марта 2021 г. Апатиты. ПГИ. С. 137-141. <http://pgia.ru:81/seminar/archive/>
14. Мирмович Э.Г. Фундаментальность явления опережения начала магнитной бури одним из типов положительных возмущений среднеширотной ионосферы / 16-я Всероссийская открытая научная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», М., ИКИ РАН. 2021. С. 192. <https://plasma2021.cosmos.ru/docs/2021/PLASMA-2021-AbstractBook-0202.pdf>
15. Мирмович Э.Г. Термосферно-ионосферные возмущения, опережающие магнитные, как краткосрочные предвестники прогноза магнитных бурь / «Physics of auroral phenomena». 45th Annual Seminar, 14–18 марта 2022 г. Апатиты. ПГИ. С. 61. http://pgia.ru/seminar/abstracts_2022.pdf
16. Мирмович Э.Г. Полярный разогрев и детерминированный прогноз среднеширотных термосферно-ионосферных возмущений / Всесоюзное совещание "Крупномасштабная структура субавроральной ионосферы" (Якутск, июнь, 1981), тезисы докладов, Якутск, 1981. С. 15–17.
17. Demars H.G., Schunk R.W. Thermospheric response to ion heating in the dayside cusp // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* V. 69. 2007. P. 649–660.
18. Ryakhovskiy I.A., Poklad Y.V., Gavrilov B.G. TEC changes caused by X-class solar flares 6 and 10 September 2017 / «Physics of auroral phenomena». 45th Annual Seminar, 14–18 марта 2022 г. Апатиты. ПГИ. С. 53. http://pgia.ru/seminar/abstracts_2022.pdf