Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2026. С. 350–351.

УДК 550.388.2
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-350
ORCID: 0000-0002-8724-9196

ПАРАМЕТРЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА ВО ВРЕМЯ НАИБОЛЕЕ ИНТЕНСИВНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ СОБЫТИЙ 21 ВЕКА

А.А. Синевич[1, 2], А.А. Чернышов[1], Д.В. Чугунин[1], М.М. Могилевский[1]

[1]Институт космических исследований РАН, Москва, Россия,
sinevichaa@cosmos.ru
[2]Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк, Москва, Россия

POLARIZATION JET PARAMETERS DURING THE MOST INTENSE GEOMAGNETIC EVENTS OF THE 21ST CENTURY

A.A. Sinevich[1, 2], A.A. Chernyshov[1], D.V. Chugunin[1], M.M. Mogilevsky[1]

[1]Space Research Institute RAS, Moscow, Russia
[2]Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation RAS, Moscow, Russia

Аннотация. Поляризационный джет (ПД) представляет собой узкую полосу дрейфа ионов на запад в субавроральной ионосфере. Наблюдения и предложенные механизмы, опубликованные ранее в научной литературе, говорят о том, что интенсивность и частота появления ПД зависит от уровня геомагнитной активности. Однако самые мощные геомагнитные бури (экстремальные), как показали наблюдения, могут иметь значительно более сложную физику, чем умеренные. Данная работа посвящена исследованию поведения параметров ПД во время сильнейших экстремальных геомагнитных бурь 21 в. Сравнение с параметрами ПД во время других экстремальных геомагнитных событий 21 в. показало, что скорость ПД во время сильнейших геомагнитных бурь в среднем ниже, чем во время умеренной геомагнитной активности. Во время экстремальных бурь ПД присутствует либо на основной фазе и фазе восстановления, либо только на основной фазе, что противоречит теориям возникновения ПД. Наблюдается антикорелляция между скоростью и шириной ПД, что может указывать на магнитосферный источник ПД.

Ключевые слова: поляризационный джет, субавроральный ионный дрейф, субавроральная ионосфера, геомагнитная активность

Abstract. A polarization jet (PJ) is a narrow band of the westward ion drift in the subauroral ionosphere. Observations and proposed mechanisms previously published in scientific papers indicate that the velocity and frequency of PJs depend on the level of geomagnetic activity. However, the most powerful (extreme) geomagnetic storms can have significantly more complex physics than moderate ones. This paper examines the behavior of PJ parameters during the greatest extreme geomagnetic storms of the 21st century. A comparison with PJ parameters during other extreme geomagnetic events of the 21st century revealed that the PJ velocity during the strongest geomagnetic storms is, on average, lower than during moderate geomagnetic activity. During extreme storms, PJ is present either during the main and recovery phases, or only during the main phase, which contradicts the theory of the PJ origin. An anticorrelation is observed between the velocity and width of PJ, which may indicate that PJ is generated by a magnetospheric source.

Keywords: polarization jet, subauroral ion drift, subauroral ionosphere, geomagnetic activity

ВВЕДЕНИЕ

Поляризационный джет (ПД), возникающий в субавроральной ионосферной плазме, представляет собой узкую полосу сильного западного дрейфа ионов на высотах F-слоя ионосферы вблизи границы проекции плазмопаузы [Galperin et al., 1974]. Ранние работы, посвященные ПД [Spiro et al., 1979; Anderson et al., 1991; Karlsson et al., 1998], показали, что частота регистрации ПД зависит от геомагнитной активности, а характер его широтно-долготного распределения приблизительно повторяет поведение главного ионосферного провала. Кроме того, все предложенные в литературе механизмы генерации ПД предполагают, что направленное к полюсу электрическое поле зависит от плотности продольных токов и объема частиц, инжектированных из магнитосферы. Следовательно, во время геомагнитных бурь, в особенности экстремальных бурь, следует ожидать роста как интенсивности ПД, так и частоты его появления. Вместе с тем любая геомагнитная буря (тем более экстремальная) представляет собой совокупность сложных нелинейных взаимосвязанных процессов, поэтому зависимость параметров ПД от геомагнитной активности в ходе экстремальных событий также может быть нелинейной. На нелинейность этой связи указывает и неожиданное обнаружение так называемых Quiet-time SAIDs — ПД геомагнитно-спокойного времени [Archer, Knudsen, 2018; Nishimura et al., 2024]. Согласно [Nishimura et al., 2024], Quiet-time SAIDs и соответствующие им Quiet-time STEVE регистрируются при практически нулевой геомагнитной активности (*SYM-H*~–4 нТл, *AE*~0 нТл, *Dst*~0 нТл), что противоречит большинству существующих теорий возникновения как ПД, так и STEVE. Исследования же проявлений ПД на противоположной стороне «геомагнитного спектра» — во время экстремальных геомагнитных событий — ранее не проводились. В настоящей работе рассмотрены параметры ПД во время крупнейших геомагнитных событий 21 в.

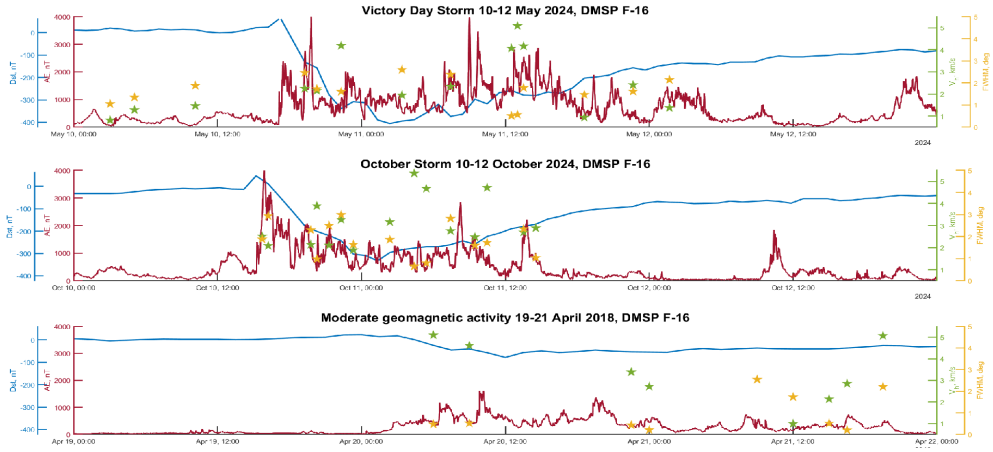

Рис. 1. Параметры ПД во время бурь 10–12 мая 2024 г., 10–12 октября 2024 г. и при средней геомагнитной активности 19–21 апреля 2018 г. Синяя кривая — *Dst*, красная —*AE*, зеленые звездочки — горизонтальная скорость дрейфа ионов внутри ПД, желтые — полуширина ПД

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

Такое исследование требует анализа большого объема данных измерений горизонтальной скорости ионного дрейфа спутниками DMSP (Defense Meteorological Satellite Program). Определение положения ПД и его параметров вручную в этом случае способно не только занять значительное время, но и серьезно повлиять на точность и достоверность результатов. Чтобы исключить ручную обработку, был разработан алгоритм полуавтоматического анализа данных и определения параметров ПД, который обрабатывает данные DMSP следующим образом: оператор задает левую и правую границы разметки, после чего алгоритм находит внутри этой области пиковое значение горизонтальной скорости ионного дрейфа. Затем алгоритм определяет левую и правую точки на уровне половины пиковой скорости и рассчитывает полную ширину на полувысоте (FWHM, полуширину), возвращая ряд параметров: полуширину, пиковую горизонтальную скорость ионного дрейфа, среднюю горизонтальную скорость ионного дрейфа в интервале между левой и правой точками на полувысоте, а также широты этих точек и MLT. Такой алгоритм сводит к минимуму влияние оператора на итоговые характеристики ПД, поскольку опирается на пиковое значение скорости горизонтального дрейфа ионов в выбранном интервале, а не на сам интервал.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На рис. 1. показаны результаты анализа с помощью полуавтоматического алгоритма измерений спутника DMSP F-16 скоростей горизонтального дрейфа ионов внутри полос ПД и их полуширины во время бурь 10–12 мая 2024 г., 10–12 октября 2024 г. и при средней геомагнитной активности 19–21 апреля 2018 г. для сравнения характеристик ПД. Видно, что для рассмотренных экстремальных бурь ПД регистрируется либо на обеих фазах, либо исключительно на главной фазе. В [Figueiredo, 2004] отмечается, что ПД сочетает в себе черты генератора напряжения и генератора тока. Формирующийся во время экстремальных геомагнитных бурь ПД может порождаться и поддерживаться различными механизмами на разных стадиях события, их комбинацией или каким-то иным, ранее не описанным механизмом. Для экстремальной бури в мае 2024 г. скорость ионного дрейфа внутри ПД оказывается ниже, чем во время умеренных магнитных возмущений. Это обусловлено особенностями развития данного экстремального события, которые нарушают работу механизмов генерации ПД из-за подвижности плазмопаузы/авроральных овала, препятствуя формированию устойчивого западного дрейфа плазмы. Обнаружена также антикорреляция между скоростью и шириной ПД, что может свидетельствовать о магнитосферном источнике ПД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Anderson P.C., Heelis R.A., Hanson W.B. The ionospheric signatures of rapid subauroral ion drifts // J. Geophys. Res. 1991. V. 96, iss. A4. P. 5785–5792. DOI: 0148-0227/91/90JA-02651.

Archer W. E., Knudsen D. J. Distinguishing subauroral ion drifts from Birkeland current boundary flows // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2018. V. 123, iss. 1. P. 819–826. DOI: 10.1002/2017JA024577.

Figueiredo S., Karlsson E., Marklund G. Investigation of subauroral ion drifts and related field-aligned currents and ionospheric Pedersen conductivity distribution // Annales Geophysicae. 2004. V. 22. P. 923–934.

Galperin Y. I., Ponomarev V. N., Zosimova A. G. Plasma convection in the polar ionosphere // Annales Geophysicae. 1974. V. 30, iss. 1. P. 1–7.

Karlsson E., Marklund G., Blomberg L. et al. Subauroral electric fields observed by Freja satellite: A statistical study // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. P. 4327–4341. DOI: 10.1029/97JA00333.

Nishimura Y., Gallardo-Lacourt B., Donovan E.F. et al. Auroral and magnetotail dynamics during quiet-time STEVE and SAID // J. Geophys. Res.: Space Phys. 2024. V. 129, iss. 11. P. e2024JA032941. DOI: 10.1029/2024JA032941.

Spiro R.W., Heelis R.A., Hanson W.B. Rapid subauroral ion drifts observed by Atmosphere Explorer C // Geophys. Res. Lett. 1979. V. 6, iss. 8. P. 657–660. DOI: 10.1029/GL006i008p00657.