



Р.А. Марчук

*Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Всплески геомагнитных пульсаций во время событий стационарной магнитосферной конвекции

Аннотация. Работа посвящена анализу особенностей геомагнитных пульсаций типа PiB в ходе двух событий стационарной магнитосферной конвекции (СМК), выбранных из списка Kissinger, 2022 [1] по данным двух геомагнитных обсерваторий института солнечно-земной физики СО РАН. Установлено, что в ходе событий СМК наблюдаются множественные периоды генерации широкополосных пульсаций типа PiB, которые возникают даже при незначительных изменениях внешних параметров системы солнечный ветер — магнитосфера и индексов геомагнитной активности. Показано, что в условиях повышенной геомагнитной активности пульсации PiB во время активной СМК выражены на средних широтах значительно сильнее, чем во время умеренной СМК. При этом короткопериодная часть пульсаций PiB на средних широтах отсутствует в умеренной СМК. Результаты работы подчеркивают важность одновременного использования данных о пульсациях PiB на высоких и средних широтах для точного таймирования процессов усиления активности в ходе СМК и составления списков таких событий.

Ключевые слова. События стационарной магнитосферной конвекции, геомагнитные пульсации, пульсации типа PiB, суббури, геомагнитная активность.

Информация о статье. Дата поступления: 22 февраля 2025 г.; дата принятия к публикации: 11 марта 2025 г.; дата онлайн-размещения: 15 апреля 2025 г.

Original article

R.A. Marchuk

*Institute of Solar-Terrestrial Physics,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russian Federation*

Geomagnetic Pulsation Bursts During Stationary Magnetospheric Convection Events

Abstract. The study is devoted to the analysis of the characteristics of PiB-type geomagnetic pulsations during two events of stationary magnetospheric convection (SMC) selected from the list by Kissinger, 2022 [1], based on data from two geomagnetic observatories of the Institute of Solar-Terrestrial Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. It has been established that during SMC events, multiple periods of generation of broadband PiB-type pulsations are observed, which occur even with minor changes in the external parameters of the solar wind-magnetosphere system and geomagnetic activity indices. It is shown that under conditions of increased geomagnetic activity, PiB pulsations during active SMC are significantly more pronounced at mid-latitudes than

during moderate SMC. At the same time, the short-period component of PiB pulsations at mid-latitudes is absent during moderate SMC. The results of the work emphasize the importance of simultaneously using data on PiB pulsations at high and mid-latitudes for accurate timing of activity enhancement processes during SMC and compiling lists of such events.

Keywords. Steady magnetospheric convection events, geomagnetic pulsations, PiB-type pulsations, substorms, geomagnetic activity.

Article info. Received 22 February, 2025; Accepted 11 March, 2025; Available online 15 April, 2025.

Введение

Основными объектами изучения космической погоды — бурно развивающегося раздела солнечно-земной физики, являются самые сильные длиннопериодные геомагнитные вариации (активизации), к которым в первую очередь можно отнести магнитосферные бури и суббури, а также пилообразные события [2, 3, 4, 5, 6, 7]. В ходе данных событий большое количество поступающей из солнечного ветра (СВ) энергии накапливается в долях хвоста магнитосферы Земли. Эта накопившаяся энергия после резких изменений внешних параметров системы СВ–магнитосфера–ионосфера взрывным образом высвобождается из хвоста магнитосферы и передается в полярную ионосферу Земли. В наших предыдущих работах [8, 9, 10] мы изучили динамику геомагнитных пульсаций типа PiB (вариации электромагнитного поля в диапазоне периодов T от 1 с до 150 с) в нескольких типах таких геомагнитных активизаций — бурь, изолированных суббурь и суббурь во время бури, пилообразных событий и импульсов динамического давления СВ. Мы показали, что широкополосные пульсации типа PiB, особенно их короткопериодная часть диапазона Pi1B ($T < 10$ с), имеет высокую чувствительность во всех изученных активизациях и возбуждаются синхронно с их взрывным развитием, что дает возможность их таймировать.

Одним из типов геомагнитных возмущений является события стационарной магнитосферной конвекции (СМК). Ключевым отличием явлений СМК является то, что запасаемая в ходе ее длительных интервалов энергия вместо ее взрывного высвобождения непрерывно отводится из хвоста магнитосферы во внутреннюю магнитосферу и полярную ионосферу, чем уравнивает приток энергии с дневной стороны и устанавливает стационарный процесс [11, 12, 13]. Кроме того, в отличие от классической суббури (изолированной или во время бури) в ходе СМК наблюдается усиление не только западного электроджета, но и восточного в результате непрерывно поступающей энергии из СВ. Поскольку данный тип геомагнитных возмущений наблюдается довольно часто и играет важную роль во взаимодействии СВ с магнитосферой, и в тоже время еще недостаточно изучен, то задача таймирования процессов усиления активности в ходе СМК является актуальной, чему и посвящена данная работа.

В данной работе рассматривается несколько событий типа СМК и на их примере иллюстрируется высокая чувствительность диапазона геомагнитных пульсаций к широкому спектру геомагнитных активизаций.

1. Данные и методология

В работе анализируются ключевые параметры СВ и ММП в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат (GSM) с использованием данных с сайта OMNI¹. С сайта SuperMAG² получены индексы геомагнитной активности: SME, SMU, SML, которые являются улучшенными по более широкой сети станций аналогами авроральных индексов (Kyoto AE, AU, AL), параметр ϵ , рассчитанный по формуле (1), который характеризует скорость передачи энергии от СВ в магнитосферу Земли, а также индекс SMR, который является аналогом индексов интенсивности кольцевого тока — Dst или SYM-H. Также в работе используются данные о геомагнитных пульсациях–вариациях геомагнитного поля с частотным разрешением $\Delta f = 64$ Гц со станции Норильск (NOR) (88.36° E, 69.36° N) и станции Монды (MND) (51.62° E, 100.92° N). Для построения динамических спектров этих пульсаций использовалась модифицированная программа для построения Морле вейвлета на языке Python. События СМК получены по списку [1] с критериями (2). Для определения внезапного начала суббури был использован критерий (3) из [14].

$$\epsilon = v \cdot B^2 \cdot \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot l_0^2 \left[\frac{\text{эрг}}{\text{с}}\right]. \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} AL \leq -75 \text{ нТ} \\ AU \geq 50 \text{ нТ} \\ \text{Устойчивость } AL: \frac{D[AL]}{M[AL]} < 20 \% \\ 10 \frac{\text{нТ}}{\text{мин}} > \frac{dAL}{dt} > -7.4 \frac{\text{нТ}}{\text{мин}}, \text{ в } 15 \text{ мин окне} \\ \text{Продолжительность события} > 90 \text{ мин} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} SML(t_0 + 1) - SML(t_0) < -15 \text{ нТл} \\ SML(t_0 + 2) - SML(t_0) < -30 \text{ нТл} \\ SML(t_0 + 3) - SML(t_0) < -45 \text{ нТл} \\ \sum_{i=4}^{i=30} \frac{SML(t_0 + i)}{26} - SML(t_0) < -100 \text{ нТл} \end{array} \right\}. \quad (3)$$

¹ URL: https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min_def.html.

² URL: <https://supermag.jhuapl.edu/indices/>.

2. Результаты

Событие 2012 02 27 г.

Первое рассматриваемое событие СМК произошло 27 февраля 2012 г., рис. 1, с 14:32 по 19:16 UT, согласно [1]. На фоне длительной южной B_z ММП, рис. 1(а), наблюдалось постепенное увеличение авроральной активности (рост индекса SME от 200 до $\sim 800\text{--}900$ нТл (прирост как SMU, так и SML) и постепенное снижение индекса SMR до $-40 < \text{SMR} < -50$ нТл, рис. 1(б, в). Поток энергии в магнитосферу составлял $\epsilon \sim 400$ ГВт, рис. 1(в). Динамическое давление СВ до конца СМК оставалось равным $P_d \sim 6$ нПа, с незначительными вариациями возле этого уровня, рис. 1(а). Интервал СМК совпадал с интервалом небольшой бури [7].

Событие СМК начинается и заканчивается двумя суббурями — в соответствии с [13]. Однако на интервале с 13 по 14:30 UT наблюдалось еще несколько быстрых активизаций, которые удовлетворяют критерию начал взрывной фазы суббури [14]. На рис. 1 они показаны вертикальными пурпурными линиями. Во время этих начал наблюдалась генерация широкополосных пакетов пульсаций типа PiB в диапазоне периодов от 1 с до 150 с, как на высокоширотной ст. NOR (рис. 1(г)), так и на среднеширотной ст. MND (рис. 1(д)). После этого в 14:32 UT устанавливается режим стационарной конвекции (первая вертикальная штриховая линия рис. 1). В ходе СМК мы также определили несколько суббуревых начал: 15:07, 16:29, 17:25 и 18:37 UT по критерию [14]. При этом генерация пульсаций типа PiB наблюдалась как во время начал (15:07 и 17:25 UT), так и вне их (пульсации в 15:24, 16:15 и 18:12 UT), но также генерация отсутствовала при развитии начал в 16:29 и 18:37 UT. Наиболее интенсивный всплеск пульсаций во время СМК наблюдался с 17:30 до 18:37 UT при повышенной интенсивности восточного электроджета ($\text{SMU} > 350$ нТл). В 19:16 UT (вторая вертикальная штриховая линия на рис. 1) режим СМК заканчивается интенсивной ($\text{SML} \approx -1080$ нТл) суббурей с генерацией еще одного широкополосного всплеска пульсаций PiB на обеих станциях. После чего ММП поворачивается на север ($\text{MMP } B_z > 0$, рис. 1(а)), P_d СВ снижается (с 6 нПа до 2 нПа, рис. 1(а)), а поток энергии в магнитосферу уменьшается (ϵ параметр ≈ 150 ГВт, рис. 1в) и геомагнитная активность замедляется ($\text{SME} \approx 100$ нТл, рис. 1(б)).

Событие 11.06.2013 г.

Еще одно событие СМК произошло 11 июня 2013 г., рис. 2 с 16:54 по 19:14 UT, согласно списка [1]. Из-за изменчивости вертикальной компоненты ММП B_z , рис. 2(а), поток энергии в магнитосферу был непостоянным, рис. 2(в). Тем не менее это вызвало возмущение в магнитосфере повышенный уровень геомагнитной активности ($\text{SME} \sim 500$ нТл) при слабом кольцевом токе ($\text{SMR} < 10$ нТл, рис. 2(в)). Давление СВ оставалось пониженным ($P_d \sim 2$ нПа) на протяжении всего события, за исключением импульса в 15:20 UT ($P_d \sim 5$ нПа).

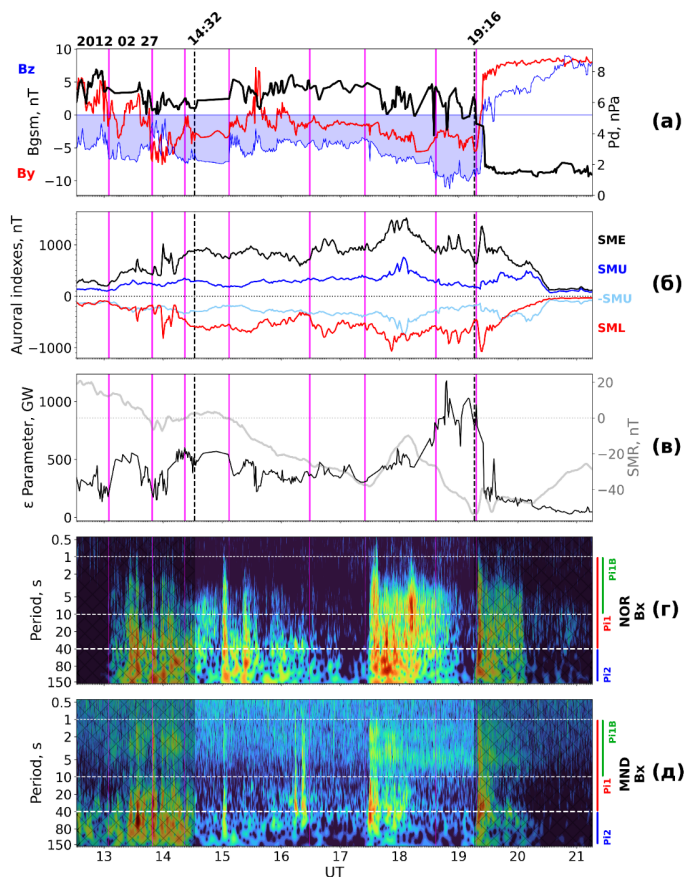


Рис. 1. SMC событие 27.02.2012. (а) Параметры СВ и ММП: компоненты ММП B_y — красная линия, B_z — синяя, P_d СВ — черная; (б) Авроральные индексы SuperMAG: черная линия: SME, синяя: SMU, светлосиняя: $-SMU$, красная: SML; (в) ϵ параметр (черная линия) и индекс SMR (серая); (г, д) — динамические спектры пульсаций в B_x -компоненте со станций NOR и MND; Диапазоны пульсаций показаны справа от панелей цветными вертикальными линиями с подписями. Вертикальные черные пунктирные линии — границы СМК события, пурпурные линии — начало взрывной фазы суббури.

В результате поворота ММП на юг в 16:54 UT при отсутствии скачков давления устанавливается режим SMC. Поток энергии в магнитосферу возрастает до ~ 400 ГВт. Индексы SML и SMU становятся приблизительно равны. На протяжении всего СМК мы не обнаружили быстрых и сильных активизаций, которые удовлетворяли критерию начал суббури [14]. Несмотря на это на северной ст. NOR наблюдалась генерация широкополостных всплесков пульсаций типа PiB в 17:26, 17:35, 18:20 и

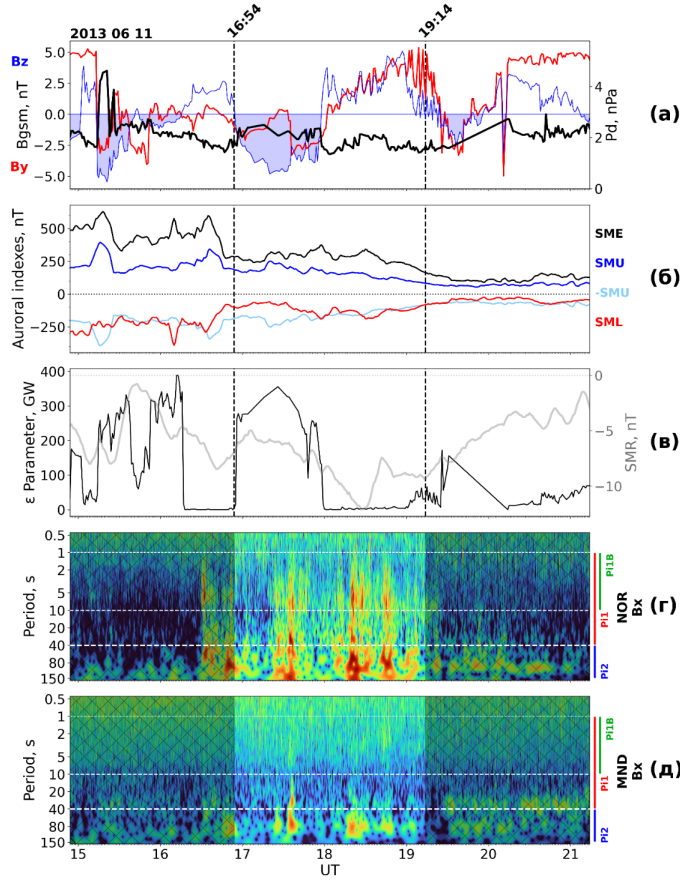


Рис. 2. SMC событие 11.06.2013 г. Обозначения те же, что и на рис. 1

18:46 UT, рис. 2(г). На среднеширотной ст. MND пульсации были видны только в диапазоне Pi2, рис. 2д. Поворот ММП на север в 17:58 UT уменьшил поступление энергии в магнитосферу и в 19:14 UT с началом интенсивных вариаций ММП событие СМК закончилось.

3. Обсуждение

Генерация пульсаций PiB во время СМК

В нашей работе мы рассмотрели два события СМК разной интенсивности, которые в соответствии с классификации [12] можно отнести к слабым или умеренным (11.06.2013), а событие (27.02.2012) к активным событиям СМК. На их примере мы показали, что вне зависимости от уровня интенсивности СМК, они сопровождаются генерацией пульсаций в широком диапазоне периодов $T = 1\text{--}150$ с.

Спад интенсивности пульсаций

На примере двух рассмотренных событий можно увидеть, что пульсации по-разному регистрируются на средних широтах в зависимости от уровня геомагнитной активности. Источником генерации пульсаций традиционно принято считать области вытекающих продольных токов в голове электроджета [8, 15]. Поэтому в условиях повышенной геомагнитной активности (27.02.2012 г.), когда южная граница овала продольных токов перемещается на более низкие широты, пульсации на средних широтах значительно лучше прописываются в динамических спектрах, включая короткопериодный диапазон $Pi1B$, $T < 10$ с, рис. 1(д). В условиях же пониженной активности (11.06.2013 г., когда электроджеты находятся на высоких широтах, на удалении 15–20 градусов широты от станции регистрации пульсаций), в процессе распространения пульсаций в сторону экватора их интенсивность на средних широтах снижается в первую очередь в короткопериодном диапазоне $T < 10$ с, рис. 2(д), оставаясь заметной в диапазоне $Pi2$, $T > 40$ с, рис. 2(д).

Критерии оценок СМК и суббурь

Актуальным остается вопрос о критерии таймирования различных геомагнитных активизаций. В нашей работе мы использовали списки СМК [1] и критерий [14] для определения начала суббурь. Однако из-за пересечения этих критериев таймирование активизаций может возникать одновременно и не давать однозначных выводов о геомагнитной обстановке.

Сравнение динамических спектров пульсаций двух рассмотренных событий стационарной конвекции показало, что при выполнении критерия начал взрывной фазы Ньюелла-Джерлоева [14] широкополосные всплески пульсаций видны на высоких и средних широтах в ходе активного СМК. В ходе умеренного СМК этот критерий не выполняется, однако пульсации регистрируются даже при слабых возмущениях электроджетов, но на низких широтах только в длиннопериодном диапазоне $T > 40$ с. Таким образом, можно прийти к заключению, что используемые в литературе критерии отбора событий СМК еще не доработаны, в списках событий в них попадают суббури не только в начале и конце СМК, но и в ходе СМК, что противоречит их определению по [13]. Поэтому для дальнейшей доводки этого критерия необходимо использовать наблюдения всплесковых пульсаций одновременно на высоких и средних широтах.

Выводы

Экспериментально подтверждено, что в ходе событий SMC могут наблюдаться множественные периоды генерации широко-

полосных пульсаций типа РiВ ($T = 1 - 150$ с), даже при небольших изменениях внешних или внутренних параметров.

Показано, что в периоды повышенной геомагнитной активности (небольшая буря, $-50 \leq Dst < -30$ нТл) пульсации во время СМК проявляются на средних широтах значительно лучше, чем в спокойных условиях. Короткопериодная часть ($T > 40$ с) пакета пульсаций РiВ исчезает на средних широтах в слабом СМК.

Показана важность использования наблюдений геомагнитных пульсаций РiВ одновременно на высоких и средних широтах при составлении списков СМК.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ангара»³. Автор выражает благодарность В.В. Мишину и В.А. Пархомову за ценные советы и полезное обсуждение.

³ URL: <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

Список использованной литературы

1. Dataset of Steady Magnetospheric Convection Events in Earth's Magnetosphere From 1997 to 2013 / J. Kissinger, R.L. McPherron, T.-S. Hsu, V.D. Angelopoulos. — DOI 10.5281/zenodo.6147689 // Zenodo. — 2022. — URL: <https://www.eso.org/sci/meetings/2022/BULGES2022/zenodo.html>.
2. Akasofu S.-I. The Development of the Auroral Substorm / S.-I. Akasofu. — DOI 10.1016/0032-0633(64)90151-5 // Planetary and Space Science. — 1964. — Vol. 12, no. 4. — P. 273–282.
3. Russell C.T. The Magnetotail and Substorms / C.T. Russell, R.L. McPherron. — DOI 10.1007/bf00169321 // Space Science Reviews. — 1973. — Vol. 15, no. 2–3. — P. 205–266.
4. Hones E.W. Plasma Sheet Behavior During Substorms / E.W. Hones // Magnetic Reconnection in Space and Laboratory Plasmas / ed. by J. E.W. Hones. — Washington, 1984. — P. 178–184. — DOI 10.1029/GM030p0178.
5. IMAGE, POLAR, and Geosynchronous Observations of Substorm and Ring Current Ion Injection / G.D. Reeves, M.G. Henderson, R.M. Skoug [et al.]. // Disturbances in Geospace: The Storm-Substorm Relationship / eds. A.S. Sharma, Y. Kamide, G.S. Lakhina. — Washington, 2003. — (Geophys. Monogr. Ser.; vol. 142). — P. 91–103. — DOI 10.1029/142GM09.
6. Henderson M.G. The May 2–3, 1986 CDAW-9C Interval: A Sawtooth Event / M.G. Henderson. — DOI 10.1029/2004gl019941 // Geophysical Research Letters. — 2004. — Vol. 31, no. 11. — P. L11804.
7. Gonzalez W.D. Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms / W.D. Gonzalez, B.T. Tsurutani, A.L. Clúa de Gonzalez. — DOI 10.1023/a:1005160129098 // Space Science Reviews. — 1999. — Vol. 88, no. 3/4. — P. 529–562.
8. Burst Geomagnetic Pulsations as Indicators of Substorm Expansion Onsets During Storms / V.V. Mishin, B. Tsegmed, Yu.Yu. Klibanova, M.A. Kurikalova. — DOI 10.1029/2020JA028521 // Journal of Geophysical Research: Space Physics. — 2020. — Vol. 125. — P. e2020JA028521.

9. Всплески геомагнитных пульсаций и излучения ночной атмосферы, вызванные изменениями давления солнечного ветра в ходе магнитосферной бури / В.В. Мишин, Ю.Ю. Клибанова, А.В. Медведев [и др.]. — DOI 10.31857/S2686739722060123. — EDN OELSFS // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. — 2022. — Т. 504, № 2. — С. 189–194.

10. Midlatitude Bursts of PiB Geomagnetic Pulsations and Night Airglow During Stormtime Sawtooth Events / V.V. Mishin, Yu.Yu. Klivanova, R.A. Marchuk [et al.]. — DOI 10.1016/j.asr.2023.06.032 // *Advances in Space Research*. — 2024. — Vol. 73, no. 7. — P. 3708–3721.

11. Sergeev V.A. Steady Magnetospheric Convection: A Review of Recent Results / V.A. Sergeev, R.J. Pellinen, T.I. Pulkkinen. — DOI 10.1007/bf00833344 // *Space Science Reviews*. — 1996. — Vol. 75, no. 3. — P. 551–604.

12. A Statistical Study of BRIs (SMCs), Isolated Substorms, and Individual Sawtooth Injections / A.D. DeJong, A.J. Ridley, X. Cai, C.R. Clauer // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. — 2009. — Vol. 114, no. A8. — P. A08215.

13. Magnetotail Configuration During a Steady Convection Event as Observed by Low-Altitude and Magnetospheric Spacecraft / V.A. Sergeev, N.A. Tsyganenko, V. Angelopoulos [et al.]. — DOI 10.1029/2018ja025867 // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. — 2018. — Vol. 123, no. 10. — P. 8390–8406.

14. Newell P.T. Evaluation of SuperMAG auroral Electrojet Indices as Indicators of Substorms and Auroral Power / P.T. Newell, J.W. Gjerloev. — DOI 10.1029/2011JA016779 // *J. Geophys. Res.* — 2011. — Vol. 116. — P. A12211.

15. Пархомов В.А. Локализация источника Pi1B / В.А. Пархомов, Р.А. Рахматулин // *Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца*. — 1975. — Т. 36. — С. 132–138.

References

1. Kissinger J., McPherron R.L., Hsu T.-S., Angelopoulos V.D. Dataset of Steady Magnetospheric Convection Events in Earth's Magnetosphere From 1997 to 2013. *Zenodo*. 2022. Available at: <https://www.eso.org/sci/meetings/2022/BULGES2022/zenodo.html>. DOI: 10.5281/zenodo.6147689.

2. Akasofu S.-I. The Development of the Auroral Substorm. *Planetary and Space Science*, 1964, vol. 12, no. 4, pp. 273–282. DOI: 10.1016/0032-0633(64)90151-5.

3. Russell C.T., McPherron R.L. The Magnetotail and Substorms. *Space Science Reviews*, 1973, vol. 15, no. 2–3, pp. 205–266. DOI: 10.1007/bf00169321.

4. Hones E.W. Plasma Sheet Behavior During Substorms. In Hones E.W. *Magnetic Reconnection in Space and Laboratory Plasmas*. Washington, 1984. P. 178–184. DOI: 10.1029/GM030p0178.

5. Reeves G.D., Henderson M.G., Skoug R.M., Thomsen M.F., Borovsky J.E. [et al.]. IMAGE, POLAR, and Geosynchronous Observations of Substorm and Ring Current Ion Injection. In Sharma A.S., Kamide Y., Lakhina G.S. (eds.). *Disturbances in Geospace: The Storm-Substorm Relationship*. Washington, 2003. (Geophys. Monogr. Ser.; vol. 142). P. 91–103. DOI: 10.1029/142GM09.

6. Henderson M.G. The May 2–3, 1986 CDAW-9C Interval: A Sawtooth Event. *Geophysical Research Letters*, 2004, vol. 31, no. 11, pp. L11804. DOI: 10.1029/2004gl019941.

7. Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Clúa de Gonzalez A.L. Interplanetary Origin of Geomagnetic Storms. *Space Science Reviews*, 1999, vol. 88, no. 3/4, pp. 529–562. DOI: 10.1023/a:1005160129098.

8. Mishin V.V., Tsegmed B., Klivanova Yu.Yu., Kurikalova M.A. Burst Geomagnetic Pulsations as Indicators of Substorm Expansion Onsets During Storms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2020, vol. 125, pp. e2020JA028521. DOI: 10.1029/2020JA028521.

9. Mishin V.V., Klibanova Yu.Yu., Medvedev A.V., Mikhalev A.V., Penski-kh Yu.V., Marchuk R.A. Bursts of Geomagnetic Pulsations and Night Atmosphere Airglow Caused by Solar Wind Pressure Changes During a Magnetospheric Storm. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2022, vol. 504, no. 2, pp. 189–194. EDN: OELSFS. DOI: 10.31857/S2686739722060123. (In Russian).

10. Mishin V.V., Klibanova Yu.Yu., Marchuk R.A., Mikhalev A.V., Penski-kh Yu.V. Midlatitude Bursts of PiB Geomagnetic Pulsations and Night Airglow During Stormtime Sawtooth Events. *Advances in Space Research*, 2024, vol. 73, no. 7, pp. 3708–3721. DOI: 10.1016/j.asr.2023.06.032.

11. Sergeev V.A., Pellinen R.J., Pulkkinen T.I. Steady Magnetospheric Convection: A Review of Recent Results. *Space Science Reviews*, 1996, vol. 75, no. 3, pp. 551–604. DOI: 10.1007/bf00833344.

12. DeJong A.D., Ridley A.J., Cai X., Clauer C.R. A Statistical Study of BRIs (SMCs), Isolated Substorms, and Individual Sawtooth Injections. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2009, vol. 114, no. A8, pp. A08215. DOI: 10.1029/2008ja013870.

13. Sergeev V.A., Tsyganenko N.A., Angelopoulos V., Runov A.V., Singer H.J. Magnetotail Configuration During a Steady Convection Event as Observed by Low-Altitude and Magnetospheric Spacecraft. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2018, vol. 123, no. 10, pp. 8390–8406. DOI: 10.1029/2018ja025867.

14. Newell P.T., Gjerloev J.W. Evaluation of SuperMAG auroral Electrojet Indices as Indicators of Substorms and Auroral Power. *J. Geophys. Res.*, 2011, vol. 116, pp. A.12211. DOI: 10.1029/2011JA016779.

15. Parkhomov V.A. Localization of Pi1B source. *Issledovaniya po geomagnetizmu, aehronomii i fizike Solntsa = Research on Geomagnetism, Aeronomy and Solar Physics*, 1975, vol. 36, pp. 132–138. (In Russian).

Информация об авторе

Марчук Роман Александрович — аспирант, Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: marchuk@iszf.irk.ru.

Information about the Author

Roman A. Marchuk — PhD Student, Institute of Solar-Terrestrial Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: marchuk@iszf.irk.ru.

Для цитирования

Марчук Р.А. Всплески геомагнитных пульсаций во время событий стационарной магнитосферной конвекции / Р.А. Марчук. — DOI 10.17150/2713-1734.2025.7(1).124-133. — EDN KHCYOV // System Analysis & Mathematical Modeling. — 2025. — Т. 7, № 1. — С. 124–133.

For Citation

Marchuk R.A. Geomagnetic Pulsation Bursts During Stationary Magnetospheric Convection Events. *System Analysis & Mathematical Modeling*, 2025, vol. 7, no. 1, pp. 124–133. (In Russian). EDN: KHCYOV. DOI: 10.17150/2713-1734.2025.7(1).124-133.