Анализ возможности использования российских геомагнитных станций для вычисления аналога Dst-индекса

В. А. Мочалов, А. В. Мочалова

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: a.mochalova@ikir.ru

В работе анализируется возможность построения аналога Dst-индекса по данным с российских геомагнитных обсерваторий. Проводится сравнительный анализ значений Dst-индекса, вычисленного классическим способом (по данным с 4 приэкваториальных станций: Hermanus, Kakioka, Honolulu и San Juan), со значениями Dst-индекса, посчитанного по данным исключительно с Российских станций.

Ключевые слова: Dst-индекс, геомагнитная активность.

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-34-1-80-87

Поступила в редакцию: 15.10.2020

В окончательном варианте: 02.12.2020

Для цитирования. Мочалов В. А., Мочалова А. В. Анализ возможности использования российских геомагнитных станций для вычисления аналога Dst-индекса // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2021. Т. 34. № 1. С. 80-87. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-34-1-80-87

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Мочалов В. А., Мочалова А. В., 2021

Введение

Dst-индекс был введен М. Сугиурой в 1964 году в работе [1]. В настоящее время тот индекс стал одним из самых распространенных индексов, характеризующих геомагнитную активность. Индекс Dst характеризует развитие поля возмущений в период магнитных бурь и представляет среднюю величину возмущения в часовом интервале, вычисленную по данным сети низкоширотных станций, разнесенных по долготе.

Dst-индекс можно определить как меру интенсивности кольцевого тока DR, усиливающегося в магнитосфере взрывным образом во время магнитных бурь [2]. Кольцевые токи текут в основном во внешнем радиационном поясе на расстояниях от 2 до 7 земных радиусов от центра Земли и направлены по часовой стрелке. На земной

Финансирование. Работа выполнялась в рамках государственного задания по теме «Динамика физических процессов в активных зонах ближнего космоса и геосфер» (Рег.№ АААА-А17-117080110043-4).

поверхности кольцевой ток приводит к уменьшению горизонтальной составляющей магнитного поля, наибольшей в низких широтах [2].

Впервые вводя понятие Dst-индекса и описывая способ его вычисления, М. Сугиура в работе [1] предлагал для расчета значений индекса использовать данные восьми станций: Hermanus, Alibag, Kakioka, Apia, Honolulu, San Juan, Pilar, MBur. Однако позже, с целью ускорения процедуры вычисления Dst-индекса, количество приэкваториальных станций, по данным с которых производилось вычисление индекса, было предложено сократить до четырех: Hermanus, Kakioka, Honolulu и San Juan [3]. На рис. 1 показано географическое положение этих станций.

Рис. 1. Сеть из 4 станций, предоставляющих данные для вычисления Dst-индекса.

Способ вычисления Dst-индекса по данным станций Hermanus, Kakioka, Honolulu и San Juan описан М. Сугиурой и Т. Камей в работе [3].

Вычисление Dst-индекса

Существуют разные подходы к вычислению Dst-индекса. Наиболее распространенным является подход к вычислению Dst-индекса на базе формулы (1).

$$Dst(t) = D(t) - D_q(t), \quad (1)$$

где

$$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{obs_i}(t) - H_{base_i}(t) - Sq_i(t))}{\sum_{i=1}^n \cos \varphi_i}, \quad (2)$$

а n — количество станций, на базе данных которых рассчитываются значения Dst-индекса; $D_q(t)$ рассчитывается как среднее арифметическое четырех значений, вычисленных по формуле (2) на каждой станции для тихих периодов. В формулах (1), (2) используются следующие обозначения: $H_{obs_i}(t)$ — значение Н-компоненты (горизонтальной составляющей вектора напряженности геомагнитного поля), наблюдаемое на i -ой станции в момент времени t ; $H_{base_i}(t)$ — базовая линия для

Н-компоненты, наблюдаемая в момент времени t на i -ой станции, $Sq_i(t)$ — спокойная солнечно-суточная вариация, которая вычисляется на каждой i -ой обсерватории в момент времени t ; φ_i — дипольная широта i -ой станции.

Таким образом, значение Dst-индекса напрямую зависит от значений четырех величин: $H_{obs_i}(t)$, φ_i , $H_{base_i}(t)$, и $Sq_i(t)$. Значения $H_{base_i}(t)$ и $Sq_i(t)$ зависят от выбранного алгоритма вычисления. Значения $H_{obs_i}(t)$ предоставляются геомагнитными обсерваториями. А значения φ_i — дипольных широт станций, как правило, считаются величинами постоянными, несмотря на то, что в реальности эта величина изменяется связи с движением магнитного полюса земли, но в связи с тем, что изменения эти большинством исследователей считаются несущественными для вычисления Dst-индекса.

Разные исследователи предлагают различные способы расчета базовой линии и спокойной солнечно-суточной вариации.

Целью этой работы является анализ возможности использования российских геомагнитных станций для вычисления аналога Dst-индекса.

Выбор российских геомагнитных обсерваторий

Расстояние от крайней южной точки России до экватора превышает 4.5 тыс. км, что делает очевидным невозможность создания в России приэкваториальных геомагнитных станций. Поэтому для разработки аналога Dst-индекса по данным российских геомагнитных станций возникает задача выбора множества обсерваторий, по данным которых будут производиться расчеты.

В сети Internet удалось найти информацию более чем о 20 российских геомагнитных станциях, большая часть этих станций представлена на рис. 2 (информация с сайта Российско-украинского центра геомагнитных данных [4]).

Рис. 2. Сеть из Российских геомагнитных станций по данным сайта [4].

Помимо представленных на рис. 2 станций из сети Intermagnet, в эту сеть, согласно данным сайта [5] в настоящее время входит еще одна российская станция этих станция Тихие Вай (71.60 с.ш., 128.90 в.д.), расположенная вблизи северной границы России.

При выборе обсерваторий больший приоритет отдавался таким геомагнитным станциям, расположенным на территории Российской Федерации, которые:

- стабильно работают продолжительное время;

- предоставляют для анализа данные с минимальным количеством «пробелов»;
- находятся ближе к экватору;
- в базе данных Intermagnet имеет данные типа «definitive» (данные определяются как окончательные принятые значения данных; окончательные данные распространяются только учреждением, ответственным за обсерваторию).

По вышеописанным критериям авторами на территории Российской Федерации было выбрано 7 следующих геомагнитных станций : Иркутск, Паратунка, Новосибирск, Борок, Магадан, Якутск, Санкт-Петербург. Все эти станции включены в международную сеть международную сеть Intermagnet [5]. В таблице приведены данные по 7 выбранным станциям, а также суммарное количество времени, за которое станции предоставили «пустые» данные за 2016 год.

Таблица

Данные о 7 выбранных геомагнитных станциях

№	Название станции	Код IAGA	Геодезическая широта	Геодезическая долгота	Суммарное время, за которое станции предоставили «пустые» данные за 2016 год (мин)
1	Иркутск	IRT	52.165	104.460	0
2	Паратунка	PET	52.971	158.248	16
3	Новосибирск	NVS	54.850	83.242	347
4	Борок	BOX	58.068	38.233	5817
5	Магадан	MGD	60.051	150.728	6953
6	Якутск	YAK	61.960	129.660	8791
7	Санкт-Петербург	SPG	60.542	29.716	35146

На рис. 3 показано географическое положение 7 выбранных российских станций.

Рис. 3. Сеть из 7 выбранных Российских геомагнитных станций.

Вычислительные эксперименты

Рис. 4. Графики значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} , построенные за период 01.10.2016 – 01.11.2016 по 7 российским станциям.

На рис. 4 представлены для сравнения графики значений Dst_{rus} (аналог Dst-индекса, посчитанный по 7 российским станциям) и Dst_{Kyoto} (Dst-индекс, построенный по алгоритму, предложенному Сугиурой (по данным с сайта [6]) построенные за период 01.10.2016 – 01.11.2016. Коэффициент корреляции значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} за этот период оказался равен 0,856671.

Спокойная солнечно-суточная вариация $Sq_i(t)$ для Dst_{rus} во всех ниже описанных экспериментах вычислялся с помощью библиотеки iWISA [7], написанной на языке R.

Рис. 5. Графики значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} , построенные за период 01.10.2016 – 01.11.2016 по 6 российским станциям (не учитывались данные станции Санкт-Петербург).

На рис. 5 представлены для сравнения графики значений Dst_{rus} (аналог Dst-индекса, посчитанный по 6 российским станциям (не учитывались данные станции

Санкт-Петербург)) и Dst_{Kyoto} построенные за период 01.10.2016 – 01.11.2016. Коэффициент корреляции значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} за этот период оказался равен 0.848166.

Рис. 6. Графики значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} , построенные за период 01.03.2016 – 01.04.2016 по 7 выбранным российским станциям.

На рис. 6 представлены для сравнения графики значений Dst_{rus} (аналог Dst-индекса, посчитанный по 7 российским станциям) и Dst_{Kyoto} построенные за период 01.03.2016 – 01.04.2016. Коэффициент корреляции значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} за этот период оказался равен 0,875875.

Рис. 7. Графики значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} , построенные за период 01.03.2016 – 01.04.2016 по 6 выбранным российским станциям (не учитывались данные станции Санкт-Петербург).

На рис. 7 представлены для сравнения графики значений Dst_{rus} (аналог Dst-индекса, посчитанный по 6 российским станциям (не учитывались данные станции Санкт-Петербург)) и Dst_{Kyoto} построенные за период 01.03.2016 – 01.04.2016. Коэффициент корреляции значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} за этот период оказался равен 0.886772.

Заключение

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- значения аналога Dst-индекса, посчитанного по 7 выбранным российским станциям, имеет высокую корреляцию со значениями Dst-индекса, посчитанного классическим образом по приэкваториальным станциям, что делает возможным предположить возможность использования российского аналога Dst-индекса в научных исследованиях;
- значение корреляции K зависит от выбора набора российских станций, по которым производится вычисление Dst-индекса;

В будущем авторы планируют провести следующие работы:

- Экспериментальным путем определить набор российских станций, данные с которых позволят получать значения аналога Dst-индекса с наибольшим значением корреляции значений Dst_{rus} и Dst_{Kyoto} .
- Провести анализ возможности применения значений российского аналога Dst-индекса в задачах, опирающихся на значения классического приэкваториального Dst-индекса.
- Разработать алгоритм обработки «пробелов» в данных с российских станций. Проанализировать возможность исключить из анализа станции на время достаточно больших «пробелов».

Конкурирующие интересы. Авторы заявляют, что конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литература/References

- [1] Sugiura M., “Hourly values of equatorialDstfor the IGY”, *Annals of the International Geophysical Year*, **35** (1964), 7–45.
- [2] Амиантов А. С., Зайцев А. Н., Одинцов В. И., Петров В. Г., *Вариации магнитного поля Земли*, База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984-2000 гг. на CD-ROM, Москва, 2001, 44 с. [Amiantov A. S., Zaytsev A. N., Odintsov V. I., Petrov V. G., *Variatsii magnitnogo polya Zemli*, Baza tsifrovyykh dannykh magnitnykh observatoriy Rossii za period 1984-2000 gg. na CD-ROM, Moskva, 2001, 44 pp.]
- [3] Sugiura M., Kamei T., “EquatorialDstindex 1957-1986”, *AGA Bull.*, **40** (1991), 6–14.
- [4] (дата обращения: 22.08.2020), Российско-украинский центр геомагнитных данных <http://geomag.gcras.ru>. [(date of the application: 22.08.2020), Russian-Ukrainian Center for Geomagnetic Data <http://geomag.gcras.ru>].
- [5] (date of the application: 12.06.2020), International Real-time Magnetic Observatory Network <http://www.intermagnet.org>.
- [6] (date of the application: 12.07.2019), World Data Center for Geomagnetism, Kyoto <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>.
- [7] (date of the application: 11.05.2020), iWISA: Wavelet-Based Index of Storm <https://cran.r-project.org/web/packages/iWISA/index.html>.

Analysis of the possibility of using Russian geomagnetic stations to calculate the analogue of the Dst-index

V. A. Mochalov, A. V. Mochalova

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation Far-Eastern Branch
Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7
E-mail: a.mochalova@ikir.ru

The paper analyzes the possibility of constructing an analogue of the Dst index using data from Russian geomagnetic observatories. A comparative analysis of the values of the Dst-index calculated by the classical method (according to data from 4 near-equatorial stations: Hermanus, Kakioka, Honolulu and San Juan) with the values of the Dst- index calculated according to data exclusively from Russian stations is carried out.

Key words: Dst-index, geomagnetic activity.

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-34-1-80-87

Original article submitted: 15.10.2020

Revision submitted: 02.12.2020

For citation. Mochalov V. A., Mochalova A. V. Analysis of the possibility of using Russian geomagnetic stations to calculate the analogue of the Dst-index. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2021, **34**: 1, 80-87. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-34-1-80-87

Competing interests. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Mochalov V. A., Mochalova A. V., 2021

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment on the topic "Dynamics of physical processes in active zones of near space and geospheres" (Reg. No. AAAA-A17-117080110043-4).