ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
УДК 537.67

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЗНАЧЕНИЙ DST-ИНДЕКСА, РАССЧИТАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХ МЕТОДИК, ОТ УРОВНЯ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

А. В. Мочалова, В. А. Мочалов, О. В. Мандрикова

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034,

Камчатский край, Елизовский район, с. Паратунка, ул. Мирная, д. 7

E-mail: a.mochalova@ikir.ru

В работе анализируются три способа вычисления Dst-индекса. Произведен анализ зависимости значений Dst-индекса, рассчитанных с помощью разных методик, от уровня солнечной и геомагнитной активности.

Ключевые слова: Dst-индекс, геомагнитная активность, солнечная активность

© Мочалова А. В., Мочалов В. А., Мандрикова О. В., 2019

INFORMATION AND COMPUTING TECHNOLOGIES
MSC 86A25

THE ANALYSIS OF DEPENDENCE OF THE VALUES OF THE DST-INDEX COUNTED BY MEANS OF THREE TECHNIQUES FROM THE LEVEL OF SOLAR AND GEOMAGNETIC ACTIVITY

A. V. Mochalova, V. A. Mochalov, O. V. Mandrikova

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684034,
Kamchatka region, Elizovskiy district, Paratunka, Mirnaya str., 7.

E-mail: a.mochalova@ikir.ru

In work three ways of calculation of the Dst-index are analyzed. The analysis of dependence of values of the Dst-index counted by different techniques from the level of solar and geomagnetic activity is made.

Dst-index, geomagnetic activity, solar activity.

© Mochalova A. V., Mochalov V. A., Mandrikova O. V., 2019

Введение

Dst-индекс, введенный Сугиурой [1] в 1964 г., является одним из наиболее распространенных индексов геомагнитной активности. 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 поверхности кольцевой ток приводит к уменьшению горизонтальной составляющей магнитного поля, наибольшей в низких широтах [2].

Следует отметить, что на формирование значений Dst-индекса помимо кольцевого тока оказывает влияние еще и DCF -токи (токи, текущие по поверхности магнитосферы), и токи в хвосте магнитосферы (DT -ток). Т.е. $Dst = DR + DT + DCF$ [3]. Однако в настоящее время ученые не пришли к единому мнению по поводу вклада кольцевого тока во внутренней магнитосфере и токов в хвосте магнитосферы на значения Dst-индекса. Так, в работах [3–6], мнения авторов по этому поводу различаются, иногда - довольно сильно. Более подробно подробный обзор этих работ приведен в статье [7].

Изначально в работе [1] для вычисления Dst-индекса Сугиура предлагал использовать данные Н-компоненты восьми станций: Hermanus, Alibag, Kakioka, Apia, Honolulu, San Juan, Pilar, M'Bur. В дальнейшем, с целью более быстрого получения Dst-индекса, количество станции было сокращено до четырех [8] (вычисление Dst-индекса по данным этих четырех станций описано Сугиурой в работе [9]): Hermanus, Kakioka, Honolulu и San Juan. Расположение этих станций показано на рис.1 [9].

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

Вычисляется Dst-индекс как усредненная величина возмущений, отсчитываемых от спокойного уровня по данным этих четырех магнитных обсерваторий [2].

Разные исследователи предлагают использовать различные методы для вычисления составляющих Dst-индекса, позволяющие осуществлять расчеты в ручном, полуавтоматическом или в автоматическом режиме, в реальном времени или с временной задержкой. Наибольшую ценность представляют алгоритмы вычисления Dst-индекса, позволяющие рассчитывать его в реальном времени с наименьшим отклонением используемого в расчетах значения Sq-вариации от эталонного значения. При вычислении Dst-индекса в реальном времени, как правило, используют значения вектора H в «скользящем временном окне», т. е. за временной интервал фиксированной длины, заканчивающийся текущей датой.

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

$$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^4 (H_{obs_i}(t) - H_{base_i}(t) - Sq_i(t))}{\sum_{i=1}^4 \cos \varphi_i}, \quad (2)$$

а $D_q(t)$ 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 H -компоненты (горизонтальной составляющей вектора напряженности геомагнитного поля), наблюдаемое на i -ой станции в момент времени t ; $H_{base_i}(t)$ — базовая линия для H -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, согласно формулам (1) и (2), значение Dst-индекса зависит от трех переменных, вычисляемых для каждой обсерватории, участвующей в определении индекса: значения H -компоненты, значения базовой линии, и значения спокойной солнечно-суточной вариации.

Конечно, в реальности на формирование значений Dst-индекса оказывают влияние и другие параметры, не учитываемые в этой формуле (например, лунно-суточная вариация или изменение дипольной широты станции в связи с движением магнитного полюса земли), но, в связи с их небольшой величиной, считается, что ими можно пренебречь при расчетах.

В работе анализируется зависимость значений Dst-индекса от разных способов расчета Sq-вариации, а также от уровня солнечной и геомагнитной активности.

Вычисление базовой линии

Мировой центр данных по геомагнетизму [10], являющийся ведущей организацией по вычислению Dst-индекса, рассчитывает базовую линию в соответствии с алгоритмом, описанным в работе [9]: для определения базовой линии берутся значения H -компоненты во время 5 международных самых спокойных дней каждого месяца. Затем эти значения H -компоненты раскладываются во временной ряд с точностью до квадратичных членов: $H_{base_i}(t) = a + b \cdot t + c \cdot t^2$, где t — время, а коэффициенты разложения a , b и c определяются по методу наименьших квадратов,

используя все значения для текущего года. Чтобы сгладить скачок, который может возникнуть при таком способе определения, на стыке двух годов, при определении полинома в качестве дополнительных данных используются значения, полученные в конце предыдущего года.

В книге [8] упоминается о возможности определения базовой линии как среднего годового значения H -составляющих для каждой станции.

Вычисление Sq -кривой по методике Дж. Бартельса

Согласно методике Дж. Бартельса [11], на каждой обсерватории выбирается несколько магнитограмм спокойного поля с четко выраженными дневными Sq -вариациями (обычно выбирают 5 суточных магнитограмм в месяц) и по ним строится средняя сглаженная кривая, которая и будет в дальнейших расчетах использоваться в качестве спокойной солнечно-суточной Sq -вариации.

Вычисление Sq -кривой по методике Дж. Бартельса считается эталонным. Международные самые спокойные дни (Q -days) за каждый месяц публикуется на германском сайте [12] спустя некоторое время после окончания данного месяца. Недостаток такого подхода к вычислению Sq заключается в том, что информацию о Q -днях можно получить лишь после того, как закончится месяц, для которого рассчитывается Sq , что исключает возможность вычисления Dst -индекса на базе значения Sq в реальном времени.

Вычисление Sq -кривой по методике М. Сугиуры

В Мировом центре данных по геомагнитизму [10], согласно алгоритму, описанному в работе [9], для вычисления спокойной солнечно-суточной Sq -вариации на каждой обсерватории выбирается 5 дней, которые максимально перекрываются с международными самыми спокойными днями (Q -днями), для каждого месяца высчитывается среднее арифметическое значение H -компоненты в эти 5 дней. Таким образом, за год получается 12 среднемесячных значений H . Эти 12 значений раскладываются в двойной ряд Фурье по местному времени t и номеру месяца s [1]:

$$Sq(t, s) = \sum_{n=1}^6 \sum_{m=1}^6 A_n^m \cos(mt + \alpha_m) \cos(ns + \beta_n). \quad (3)$$

Значения Dst -индекса, подсчитанные с помощью такого способа вычисления H_{base} и Sq , публикуются на японском сайте [10] Мирового центра данных по геомагнитизму.

Вычисление Sq -кривой с помощью вейвлет-преобразования

В книге [13] российскими учеными О.В. Мандриковой и И.С. Соловьевым был предложен алгоритм вычисления Sq -вариации на базе вейвлет-преобразования, с помощью которого предлагается оценивать степень возмущенности каждых суток. По результатам оценки выбираются 5 самых спокойных из них, после чего, согласно стандартной методике, находится средняя кривая по выбранным спокойным дням.

Предложенный алгоритм позволит вычислять Sq-кривую в режиме онлайн, не дожидаясь окончания текущего месяца для определения 5 международных самых спокойных дней.

Ниже приведен алгоритм нахождения Sq-кривой с помощью вейвлет-преобразования [13]:

- 1) Загружаем в память суточные вариации магнитного поля за текущий месяц, выполняем их отображение в вейвлет-пакеты и получаем их представление в виде:

$$f(t) = f_{\text{хар}}(t) + \sum_{(j_{\text{ВОЗМ}}, n) \in I_1} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t) + \sum_{(j_{\text{ВОЗМ}}, n) \in I_2} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t) + e(t),$$

где $f_{\text{хар}}(t)$ — характерная составляющая вариации поля, компонента $g_{\text{ВОЗМ},1}(t) = \sum_{(j_{\text{ВОЗМ}}, n) \in I_1} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t)$ описывает слабые геомагнитные возмущения, компонента $g_{\text{ВОЗМ},2}(t) = \sum_{(j_{\text{ВОЗМ}}, n) \in I_2} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t)$ описывает сильные геомагнитные возмущения, $\psi_{j_{\text{ВОЗМ}}} = \{\psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}\}_{n \in \mathbb{Z}}$ — вейвлет-базис, коэффициенты $d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} = \langle f, \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} \rangle$, $j_{\text{ВОЗМ}}$ — масштаб, n — отсчеты сигнала, I_1, I_2 — наборы индексов, $e(t)$ — шум.

- 2) Определяем вариации, имеющие вид:

$$f(t) = f_{\text{хар}}(t) + \sum_{(j_{\text{ВОЗМ}}, n) \in I_1} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t) + e(t)$$

и получаем для них возмущенные составляющие:

$$g_{\text{ВОЗМ},1}(t) = \sum_{(j_{\text{ВОЗМ}}, n) \in I_1} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t)$$

- 3) Для полученного набора составляющих:

$$g_{\text{ВОЗМ},1}^{(s)}(t), \quad s = \overline{1, S},$$

где s — номер составляющей, S — количество составляющих за месяц, проверяем выполняется ли критерий оценки степени возмущенности компоненты: будем считать, что на масштабе $j_{\text{ВОЗМ}}$ компонента $g_{\text{ВОЗМ},1}^{(1)}(t) = \sum_{n=\overline{1, L}} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}^{(1)} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t)$ является

более возмущенной, чем компонента $g_{\text{ВОЗМ},1}^{(2)}(t) = \sum_{n=\overline{1, L}} d_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}^{(2)} \psi_{j_{\text{ВОЗМ}}, n}(t)$, если

$$A_{j_{\text{ВОЗМ}}}^{(1)} = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L |d_{j_{\text{ВОЗМ},1}, n}^{(1)}| > \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L |d_{j_{\text{ВОЗМ},1}, n}^{(2)}| = A_{j_{\text{ВОЗМ}}}^{(2)},$$

где L — длина компонент. Велечина $A_{j_{\text{ВОЗМ}}} = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L |d_{j_{\text{ВОЗМ},1}, n}|$ здесь рассматривается в качестве меры возмущенности компоненты на масштабе $j_{\text{ВОЗМ}}$.

- 4) Определяем самые «спокойные» вариации и строим среднюю сглаженную кривую — Sq-кривую.

Подробное описание вейвлет-преобразования и построений с помощью него Sq-кривой приведено в работе [13].

Вычислительные эксперименты

В ходе работы были проведены вычислительные эксперименты в среде MATLAB по расчету индекса Dst разными способами за 2014 год (ближайший к дате написания статьи год, для которого на сайте Мирового центра данных по геомагнитизму [10] посчитана финальная версия индекса Dst и для которого на сайте Intermagnet [14] имеются значения H-компоненты для всех четырех станций Hermanus, Kakioka, Honolulu и San Juan). На рис.2 представлены графики значений Dst-индекса, вычисленных тремя разными способами: $Dst_{wavelet}$ — Dst-индекс, построенный на базе Sq-вариации, которая считается с помощью вейвлет преобразования; Dst_{Kyoto} — Dst-индекс, построенный по алгоритму, предложенному Сугиурой (по данным с сайта [10]); $Dst_{Bartels}$ — Dst-индекс, использующий значения Sq-вариации, вычисляемые по алгоритму Бартельса, на базе 5 международных спокойных дней (эталонное значение Sq). Базовая линия во всех трех случаях считалась одинаково — по алгоритму, предложенному Сугиурой в работе [9]. Значения среднесуточного индекса солнечной активности $F_{10.7}$, график которого представлен на рисунке 2, брались с сайта [15], а значения индекса Kp — с сайта [10].

Рис. 2. Графики Dst-индекса, посчитанного тремя разными способами и графики индексов $F_{10.7}$ и Kp

По рис. 2 видно, что все три способа расчета Dst дают похожие значения, однако корреляция $corr(Dst_{wavelet}, Dst_{Bartels})$ (обозначения см. выше в описании рисунка 2) между двумя наборами значений Dst-индекса $Dst_{wavelet}$ и $Dst_{Bartels}$ выше, чем корреляция $corr(Dst_{Kyoto}, Dst_{Bartels})$:

$$0,89269 = corr(Dst_{wavelet}, Dst_{Bartels}) > corr(Dst_{Kyoto}, Dst_{Bartels}) = 0,83835,$$

Кроме того, следует отметить, что у алгоритма построения Dst-индекса на базе Sq вариации, вычисляемой с помощью вейвлет-преобразования ($Dst_{wavelet}$), имеется большое преимущество перед другими способами вычисления Dst ($Dst_{Bartels}$ и Dst_{Kyoto}): значения $Dst_{wavelet}$ вычисляются полностью автоматически, в режиме онлайн (базовая линия и Sq-кривая строится по данным H из «скользящего временного окна»).

В табл.1 приведены значения корреляции и среднеквадратического отклонения для пар наборов ($Dst_{Bartels}, Dst_{wavelet}$), ($Dst_{Bartels}, Dst_{Kyoto}$), полученных за периоды активных фаз геомагнитных бурь и периоды, когда геомагнитное поле было спокойным.

Таблица 1

Значение корреляции (corr) и среднеквадратического отклонения (std) для пар наборов ($Dst_{Bartels}, Dst_{wavelet}$), ($Dst_{Bartels}, Dst_{Kyoto}$), полученных за разные периоды времени

Временной интервал, описание	$corr$ ($Dst_{Bartels},$ $Dst_{wavelet}$)	$corr$ ($Dst_{Bartels},$ Dst_{Kyoto})	std ($Dst_{Bartels},$ $Dst_{wavelet}$)	std ($Dst_{Bartels},$ Dst_{Kyoto})
Сильная буря: 19.02 3:00 - 19.02 12:00	0,99791	0,99833	2,2893	1,3820
Умеренная буря: 20.02 5:00 -20.02 14:00	0,99621	0,99655	1,6992	1,2013
Умеренная буря: 27.02 21:00 -28.02 8:00	0,91401	0,96841	4,8637	3,7811
Умеренная буря: 12.04 4:00 - 12.04 14:00	0,95756	0,90310	2,8193	4,4401
Умеренная буря: 30.04 8:00 - 30.04 12:00	0,52439	0,38473	4,1217	4,5682
Умеренная буря: 27.08 10:00 - 27.08 23:00	0,86176	0,84574	5,1527	4,8256
Умеренная буря: 12.09 22:00 - 12.09 23:00	1	1	2,3992	0,34653
Спок. г/м интервал: 04.01 1:00 - 06.01 7:00	0,74371	0,69987	3,0876	3,2290
Спок. г/м интервал: 10.02 16:00 - 12.02 21:00	0,71619	0,71070	3,2839	3,2722
Спок. г/м интервал: 04.03 16:00 - 09.03 17:00	0,034849	0,58043	5,7558	3,7943
Спок. г/м интервал: 15.07 7:00 - 20.07 17:00	0,64809	0,77548	4,0319	3,3410
Спок. г/м интервал: 15.10 9:00 - 20.10 11:00	0,72227	0,91155	5,1866	2,9292

Табл.2 содержит значения корреляции для трех пар наборов ($F_{10.7}, Dst_{Bartels}$), ($F_{10.7}, Dst_{wavelet}$) и ($F_{10.7}, Dst_{Kyoto}$), полученных за временные интервалы, выбранные

вблизи локальных максимумов и минимумов индекса $F_{10.7}$ (значения среднесуточного индекса солнечной активности $F_{10.7}$ для анализа брались с сайта [15]).

Таблица 2

Значение корреляции (corr) для пар наборов ($F_{10.7}, Dst_{Bartels}$), ($F_{10.7}, Dst_{wavelet}$) и ($F_{10.7}, Dst_{Kyoto}$) полученных за разные периоды времени

Временной интервал, описание	<i>corr</i> ($F_{10.7}, Dst_{Bartels}$)	<i>corr</i> ($F_{10.7}, Dst_{wavelet}$)	<i>std</i> ($F_{10.7}, Dst_{Kyoto}$)
Вблизи лок. максимума $F_{10.7}$: 1.03.14 - 1.09.14	0,30969	0,33671	0,34944
Вблизи лок. максимума $F_{10.7}$: 2.1.14 - 2.7.14	0,049005	0,036653	0,047007
Вблизи лок. максимума $F_{10.7}$: 7.2.14 - 7.11.14	0,35145	0,34764	0,37819
Вблизи лок. максимума $F_{10.7}$: 10.18.14 - 10.27.14	-0,069439	-0,080143	-0,090146
Вблизи лок. максимума $F_{10.7}$: 11.27.14 - 11.30.14	-0,356965	-0,32920	-0,36217
Вблизи лок. максимума $F_{10.7}$: 12.16.14 - 12.22.14	0,38814	0,39153	0,42122
Вблизи лок. минимума $F_{10.7}$: 5.25.14 - 6.5.14	-0,081626	-0,039317	-0,19797
Вблизи лок. минимума $F_{10.7}$: 7.14.14 - 7.25.14	0,22352	0,14984	0,24072
Вблизи лок. минимума $F_{10.7}$: 8.9.14 - 8.19.14	0,40347	0,49340	0,41132
Вблизи лок. минимума $F_{10.7}$: 10.11.14 - 10.13.14	-0,040671	-0,039471	-0,050500
Вблизи лок. минимума $F_{10.7}$: 10.31.14 - 11.1.14	0,44098	0,67637	0,073389

Благодарность

Авторы выражают благодарность разработчикам сайта [10] за предоставленные данные по значениям Dst-индекса, вычисленного по методике М. Сугиуры, и разработчикам сайта [12] за информацию о Международных самых спокойных днях (Q-days). Также авторы благодарят к.т.н., старшего научного сотрудника лаборатории Системного анализа ИКИР ДВО РАН И.С. Соловьева за предоставленный код программной реализации расчета Sq-кривой с помощью вейвлет-преобразования.

Заключение

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- 1) Наиболее близкие значения принимают наборы $Dst_{Bartels}$, $Dst_{wavelet}$ и Dst_{Kyoto} в периоды активной фазы магнитной бури;

- 2) Корреляция значений индекса $Dst_{wavelet}$ и $Dst_{Bartels}$ сравнима с корреляцией Dst_{Kyoto} и $Dst_{Bartels}$, но при этом способ расчета $Dst_{wavelet}$ обладает значительным преимуществом: он позволяет получать значения индекса в реальном времени;
- 3) Не выявлено зависимости значений Dst-индекса, посчитанного разными способами, от значений индекса $F_{10.7}$.

Список литературы/References

- [1] Sugiura M., "Hourly values of equatorial Dst for 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., "База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984-2000 гг. на CD-ROM", *Вариации магнитного поля Земли*, М., 2001, 44 с. [Amiantov A. S., Zaytsev A. N., Odintsov V. I., Petrov V. G., "Baza tsifrovyykh dannyykh magnitnykh observatoriy Rossii za period 1984-2000 gg. na CD-ROM", *Variatsii magnitnogo polya Zemli*, М., 2001, 44 pp., (in Russian)].
- [3] Feldstein Y. I., Levitin A. E., Kozyra J. U., Tsurutani B. T., Prigancova A., Alperovich L., Gonzalez W. D., Mall U., Alexeev I. I., Gromova L. I., Dremukhina L. A., "Self-consistent modeling of the large-scale distortions in the geomagnetic field during the 24–27 September 1998 major magnetic storm", *J. Geophys. Res.*, **A11214** (2005).
- [4] Alexeev I. I., Belenkaya E. S., Kalegaev V. V., Feldstein Y. I., Grafe A., "Magnetic storms and magnetotail currents", *J. Geophys. Res.*, **101** (1996), 7737–7747.
- [5] Maltsev Yu. P., "Points of controversy in the study of magnetic storms", *Space Sci. Rev.*, **110** (2004), 227–277.
- [6] Liemohn M. W., Kozyra J. U., Clauer C. R., Ridley A. J., "Computational analysis of the near Earth magneto spheric current system during two phase decay storms", *J. Geophys. Res.*, **106** (2001), 29531–29542.
- [7] Соловьев С. И., Бороев Р. Н., Моисеев А. В., Ду А., Юмото К., "Влияние авроральных электроструй и параметров солнечного ветра на вариации интенсивности низкочастотных геомагнитных возмущений Dst во время экстремально большой магнитной бури 20–21 ноября 2003 г.", *Геомагнетизм и аэрономия*, **48:3** (2008), 306–319. [Solov'yev S. I., Boroyev R. N., Moiseyev A. V., Du A., Yumoto K., "Vliyaniye avroral'nykh elektrostruy i parametrov solnechnogo vetra na variatsii intensivnosti nizkoshirotnykh geomagnitnykh vozmushcheniy Dst vo vremya ekstremal'no bol'shoy magnitnoy buri 20–21 noyabrya 2003 g.", *Geomagnetizm i aeronomiya*, **48:3** (2008), 306–319, (in Russian)].
- [8] Заболотная Н. А., *Индексы геомагнитной активности*, Изд-во ЛКИ, М, 2007, 88 с. [Zabolotnaya N. A., *Indeksy geomagnitnoy aktivnosti*, Izd-vo LKI, М, 2007, 88 pp., (in Russian)].
- [9] Sugiura M., Kamei T., "Equatorial Dst index 1957-1986", *IAGA Bull.*, **40** (1991), 6-14.
- [10] World Data Center for Geomagnetism, Kyoto [Электронный ресурс] <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>.
- [11] Bartels J., "Potsdamer erdmagnetische Kennziffern, 1 Mitteilung", *Zeitschrift für Geophysik*, **14:68-78** (1938), 699-718.
- [12] GFG: Helmholtz-Zentrum Postdam <https://www.gfz-potsdam.de>.
- [13] Мандрикова О. В., Соловьев И. С., Полозов Ю. А., Фетисова Н. В., *Интеллектуальные средства и программные системы анализа динамических процессов в магнитосферно-ионосферной системе в периоды возмущений*, Дальнаука, Владивосток, 2017, 228 с.].
- [14] Mandrikova O. V., Solov'yev I. S., Polozov YU. A., Fetisova N. V., *Intellektual'nyye sredstva i programmnyye sistemy analiza dinamicheskikh protsessov v magnitosferno-ionosfernoy sisteme v periody vozmushcheniy*, Dal'nauka, Vladivostok, 2017, 228 с., (in Russian).
- [15] International Real-time Magnetic Observatory Network <http://www.intermagnet.org>.

- [16] *Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP) at the University of Colorado Boulder (CU)* <http://lasp.colorado.edu>.

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Sugiura M. Hourly values of equatorialDstfor the IGY // *Annals of the International Geophysical Year*. 1964. vol. 35. pp. 7–45.
- [2] Амиантов А. С., Зайцев А. Н., Одинцов В. И., Петров В. Г. База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984–2000 гг. на CD-ROM // *Вариации магнитного поля Земли*. М.: 2001. 44 с.
- [3] Feldstein Y. I., Levitin A. E., Kozyra J. U., Tsurutani B. T., Prigancova A., Alperovich L., Gonzalez W. D., Mall U., Alexeev I. I., Gromova L. I., Dremukhina L. A. // Self-consistent modeling of the large-scale distortions in the geomagnetic field during the 24–27 September 1998 major magnetic storm // *J. Geophys. Res.* 2005. A11214.
- [4] Alexeev I. I., Belenkaya E. S., Kalegaev V. V., Feldstein Y. I., Grafe A. Magnetic storms and magnetotail currents // *J. Geophys. Res.* 1996. vol. 101. pp. 7737–7747.
- [5] Maltsev Yu. P. Points of controversy in the study of magnetic storms // *Space Sci. Rev.* 2004. vol. 110. pp. 227–277.
- [6] Liemohn M. W., Kozyra J. U., Clauer C. R., Ridley A. J. Computational analysis of the near Earth magneto spheric current system during two phase decay storms // *J. Geophys. Res.* 2001. vol. 106. pp. 29531–29542.
- [7] Соловьев С. И., Борова Р. Н., Моисеев А. В., Ду А., Юмото К. Влияние авроральных электроструй и параметров солнечного ветра на вариации интенсивности низкоширотных геомагнитных возмущений Dst во время экстремально большой магнитной бури 20–21 ноября 2003 г. // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2008. Т. 48. №3. С.306–319.
- [8] Заболотная Н. А. Индексы геомагнитной активности. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 88 с.
- [9] Sugiura M., Kamei T. EquatorialDstindex 1957–1986 // *IAGA Bull.* 1991. vol. 40. pp. 6–14.
- [10] World Data Center for Geomagnetism, Kyoto [Электронный ресурс] <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>
- [11] Bartels J. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern, 1 Mitteilung // *Zeitschrift für Geophysik*. 1938. vol. 14. no. 68–78. pp. 699–718.
- [12] GFG: Helmholtz-Zentrum Postdam <https://www.gfz-potsdam.de>
- [13] Мандрикова О. В., Соловьев И. С., Полозов Ю. А., Фетисова Н. В. Интеллектуальные средства и программные системы анализа динамических процессов в магнитосферно-ионосферной системе в периоды возмущений. Владивосток: Дальнаука, 2017. 228 с.
- [14] International Real-time Magnetic Observatory Network <http://www.intermagnet.org>
- [15] Laboratory for Atmospheric and Space Physics (LASP) at the University of Colorado Boulder (CU) <http://lasp.colorado.edu>

Для цитирования: Мочалова А. В., Мочалов В. А., Мандрикова О. В. Анализ зависимости значений DST-индекса, рассчитанных с помощью трех методик, от уровня солнечной и геомагнитной активности // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2019. Т. 29. № 4. С. 77–86. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-77-86

For citation: Mochalova A. V., Mochalov V. A., Mandrikova O. V. The analysis of dependence of the values of the DST-index counted by means of three techniques from the level of solar and geomagnetic activity, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2019, **29**: 4, 77–86. DOI: 10.26117/2079-6641-2019-29-4-77-86