

О ВОЗМОЖНЫХ ПОДХОДАХ К ВЫЧИСЛЕНИЮ ИНДЕКСОВ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ НА БАЗЕ ДАННЫХ МИРОВЫХ СЕТЕЙ ГЕОМАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

В.А. Пархомов, В.Э. Чиликин

Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия
chilikinve@ya.ru

ON POSSIBLE TECHNIQUES FOR CALCULATING GEOMAGNETIC ACTIVITY INDICES, USING DATA FROM WORLD NETWORKS OF GEOMAGNETIC OBSERVATORIES, FOR OPERATIONAL DIAGNOSTICS OF SPACE WEATHER

V.A. Parkhomov, V.E. Chilikin

Baikal State University, Irkutsk, Russia

Аннотация. Обсуждается возможность использования данных Intermagnet и других сетей магнитометров для оперативного вычисления аналогов индексов геомагнитной возмущенности. Представлено программное обеспечение, предназначенное для вычисления напряженности геомагнитного поля H_{av} , создаваемой эквивалентным ионосферным током над данной магнитной обсерваторией, построения карт векторов эквивалентных токов и визуализации параметров околоземной среды по спутниковым наблюдениям. Рассматривается возможность использования среднего значения H_{av} , вычисленного в четырех широтных поясах $75-90^\circ$, $60-75^\circ$, $30-60^\circ$ и $30-(-30^\circ)$, как аналога общепринятых геомагнитных индексов PC , AE , K_p и $SYM-H$.

Ключевые слова: сеть Intermagnet, карта векторов, эквивалентный ионосферный ток, аналог индексов геомагнитной активности.

Abstract. Discussion about of using data of the Intermagnet and other magnetometer networks for calculate analog of the generally accepted geomagnetic indices. The software is designed to calculate equivalent ionospheric currents H_{av} , constructing maps of the current vectors and research of the processes taking place in near-Earth space. Considered of using the average H_{av} value calculated in 4 latitude zones as an analog of the generally accepted geomagnetic indices PC , AE , K_p and $SYM-H$.

Keywords: Intermagnet network, vector map, equivalent ionospheric current, analog of geomagnetic activity indices.

Индексы, применяемые для оценки геомагнитной активности

Мировые индексы геомагнитной активности, предназначены для количественного описания состояния магнитного поля Земли и оценки магнитосферно-ионосферных электрических токов, вызывающих вариации геомагнитного поля. Индексы используются для решения различных задач. Для оценки геомагнитной активности в средних широтах, в авроральной зоне и полярной шапке используются следующие индексы:

- K_p — планетарный индекс геомагнитной активности. Определяется путем вычисления среднего значения K -индексов получаемых на 14 геомагнитных обсерваториях, расположенных в интервале между 44 и 60° географической широты [Bartels et al., 1939];

- Dst -индекс — индекс геомагнитных бурь, определяется по пяти станциям расположенных в средних широтах. Изначально вычислялся за часовой период, на данный момент период квантования 10 мин [Sugiura, Kamei, 1991];

- $SIM-H$ и $SIM-D$ — являются аналогом Dst -индекса. Вычисляются ежеминутно по данным 10 станций [Iyemori, Rao, 1996];

- AE , AL , AU — индексы авроральной электроструи определяемые по значениям H -компоненты на 12 станциях, расположенных в авроральной зоне северного полушария между 60 и 70° географической широты [Davis, Sugiura, 1966];

- PC — индекс характеризует магнитную активность в полярных шапках на основе данных двух станций в Гренландии (Туле) и Антарктике (Восток) [Troshichev, 1988];

Наряду с глобальными индексами геомагнитной активности, для оценки активности на меридиональных сетях предложены локальные индексы, для вычисления которых используют ограниченное количество геомагнитных станций. Поэтому они служат для оценки локальной (региональной) геомагнитной активности.

- IL , IE , IU — индексы региональной сети IMAGE [http://www.ava.fmi.fi/image/il_index/]. Вычисляются аналогично индексам AE , AL , AU по данным 28 станций;

- CL , CE , CU , PL , PE , PU — индексы региональной сети CARISMA [<http://carisma.ca/carisma-data/fgm-auroal-indices>]. Для вычисления индексов CL , CE , CU используются данные 15 станций, по данным 12 станций вычисляются индексы PL , PE , PU .

Сегодня главным источником геомагнитных данных является мировая сеть Intermagnet [http://www.intermagnet.org/], в состав которой входят 106 геомагнитных обсерваторий в 43 странах мира. Данные сети находятся в свободном доступе. Геомагнитные данные также предоставляют и другие сети: «210 меридиан» [http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/mm210], THEMIS [http://themis.ssl.berkeley.edu/index.shtml], и перечисленные выше IMAGE и CARISMA.

В представляемой работе описано программное обеспечение для построения карт векторов эквивалентных токов и карт отклонений ΔZ , которое позволяет на основе H_{av} (средних напряженностей геомагнитного поля, индуцированной эквивалентным током над данной магнитной обсерваторией), рассчитываемых по данным мировых сетей, сформулировать подходы к вычислению аналогов индексов геомагнитной активности и определить глобальную динамику и интенсивность событий, происходящих в геомагнитном поле во время солнечных вспышек, магнитных бурь и суббурь.

Методика построения карт токовых векторов

Согласно методике построения карт токовых векторов [Sabben, 1968; Dmitriev, Yeh 2008; Пархомов и др., 2016] для каждой обсерватории производятся вычисления ΔX , ΔY , ΔZ по следующей формуле:

$$\Delta x_i = x_i - x_0 - \frac{(t_i - t_0)(x_n - x_0)}{t_n - t_0},$$

где x — зарегистрированное значение компоненты (X , Y или Z), t — время регистрации значения в минутах. Далее по полученным ΔX и ΔY вычисляются значения ΔH и δ :

$$\Delta H = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \text{ и } \delta = \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}.$$

Значения ΔH и δ служат оценкой величины и направления эквивалентного тока, протекающего над обсерваторией. Полученные значения в виде вектора, длина которого определяется величиной ΔH под углом δ к северу, наносятся на карту в равнопромежуточной (рис. 1, б) и стереографической проекции южного и северного полюсов (рис. 2). Дополнительно на карту наносятся значения ΔZ . Положительным значениям соответствуют красные круги, а отрицательным — синие. Диаметр круга отражает величину ΔZ для станции.

Карты векторов строятся для каждого минутного интервала в заданном временном сегменте. По оси времени (рис. 1, а) перемещается движок, обозначающий расчет в данной минуте (помечен вертикальной линией). Кроме того, в программе введены функции визуализации различных параметров околоземной среды и солнечного ветра: потоков рентгеновского излучения в двух диапазонах длин волн 0.5–4.0 Å и 1.0–8.0 Å; параметров солнечного ветра V , N , P и межпланетного магнитного поля B , B_x , B_y , B_z , а также пото-

ков заряженных частиц (электроны и протоны) в радиационных поясах Земли.

На основе полученных для каждой станции величин ΔH , производится расчет средней величины напряженности магнитного поля, создаваемой эквивалентным током, H_{av} в определенном диапазоне широт: в полярной шапке, авроральной зоне, средних и экваториальных широтах северного и южного полушарий (рис. 1, в). В программе предусмотрена возможность вычисления H_{av} общего и отдельно для восточного и западного полушарий.

Первым интервалом выбран весь диапазон широт от +90 до –90°. Сумма значений H_{av} в диапазоне широт от 90 до –90° будет определять глобальную геомагнитную возмущенность. Аналога общепринятого индекса нет. Вторым поясом выбраны широты 75–90°. Полученные в этом широтном поясе значения H_{av} , могут служить аналогом индекса PC . Третьим широтным поясом выбрана авроральная зона 75–60° северного и южного полушарий. Значение H_{av} в этом широтном интервале будет аналогично индексу AE . В средних широтах обоих полушарий выбран интервал 60–30°. Значение H_{av} в этом широтном интервале будет аналогично индексу K_p . Для приэкваториальной зоны выбран широтный диапазон 30°–30°. значение H_{av} в этом широтном поясе будет аналогично индексам $SYM-H$ и Dst . Последние три широтных диапазона расположены в южном полушарии на широтах –30°–60°, –60°–75°, –75°–90°. Средние значения H_{av} дают возможность оценить геомагнитную активность в южном полушарии.

Сравнение суточного хода общепринятых индексов и значений H_{av} в соответствующих широтных диапазонах даны на рис. 3, а в таблице даны парные коэффициенты корреляции соответствующих индексов и их аналогов.

Коэффициенты корреляции индексов и значений H_{av}

Индекс	Диапазон H_{av}	R
AE	$90 \geq \text{gLat} \geq -90$	0.72
AE	$90 \geq \text{gLat} > 75$	0.70
AE	$75 \geq \text{gLat} > 60$	0.72
AE	$60 \geq \text{gLat} > 30$	0.48
PCN	$90 \geq \text{gLat} > 75$	0.68
$SYM-H$ (all raw)	$30 \geq \text{gLat} > -30$	–0.32
$SYM-H$ (04-07 UT)	$30 \geq \text{gLat} > -30$	0.97
$ASY-D$	$30 \geq \text{gLat} > -30$	0.63
$ASY-H$	$30 \geq \text{gLat} > -30$	0.67

Заключение

Описываемая методика протестирована на геомагнитных возмущениях, вызываемых разными видами первичных источников: рентгеновским излучением солнечных вспышек (эффект солнечной вспышки SFE), межпланетными ударными волнами и усиленными потоками солнечного ветра из корональных дыр (магнитные бури с внезапным началом), диамагнитными структурами солнечного ветра

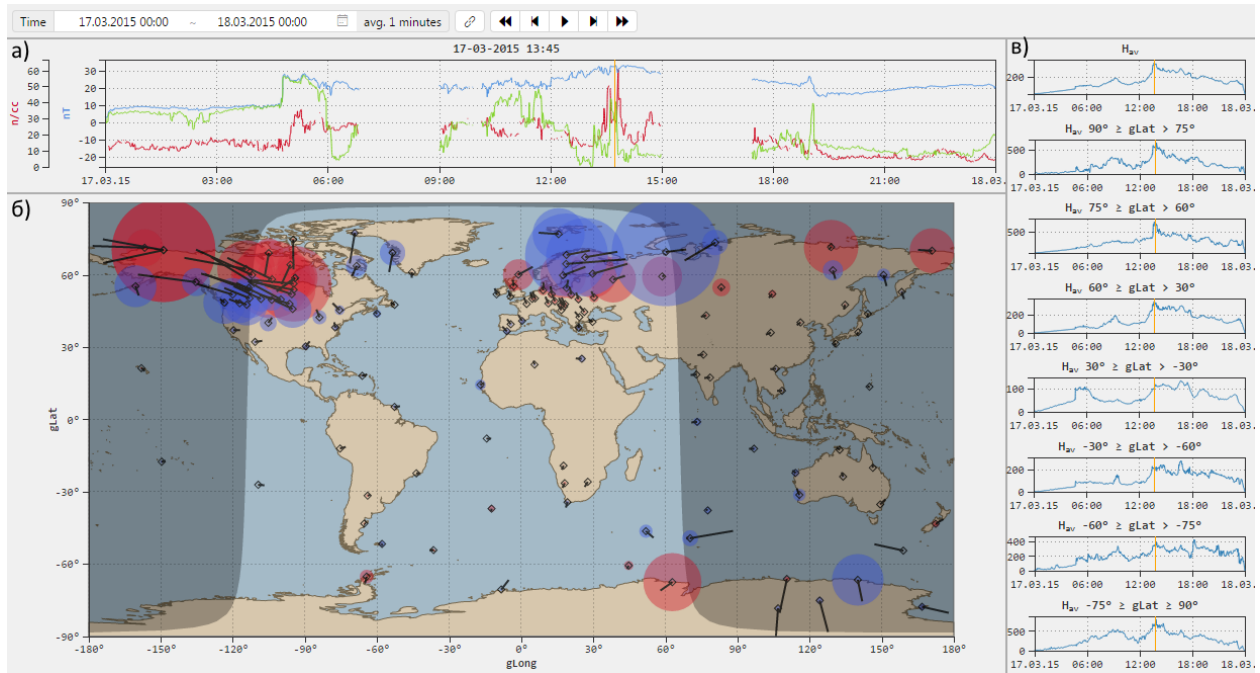


Рис. 1. Суточная карта эквивалентных ионосферных токов во время мощной магнитной бури 17.03.2015 г. (бура в день Св. Патрика):
 а) вариации параметров СВ и ММП,
 б) карта эквивалентных ионосферных токов,
 в) средние значения величины напряженности магнитного поля, индуцированные эквивалентным ионосферным током в обозначенных широтных интервалах

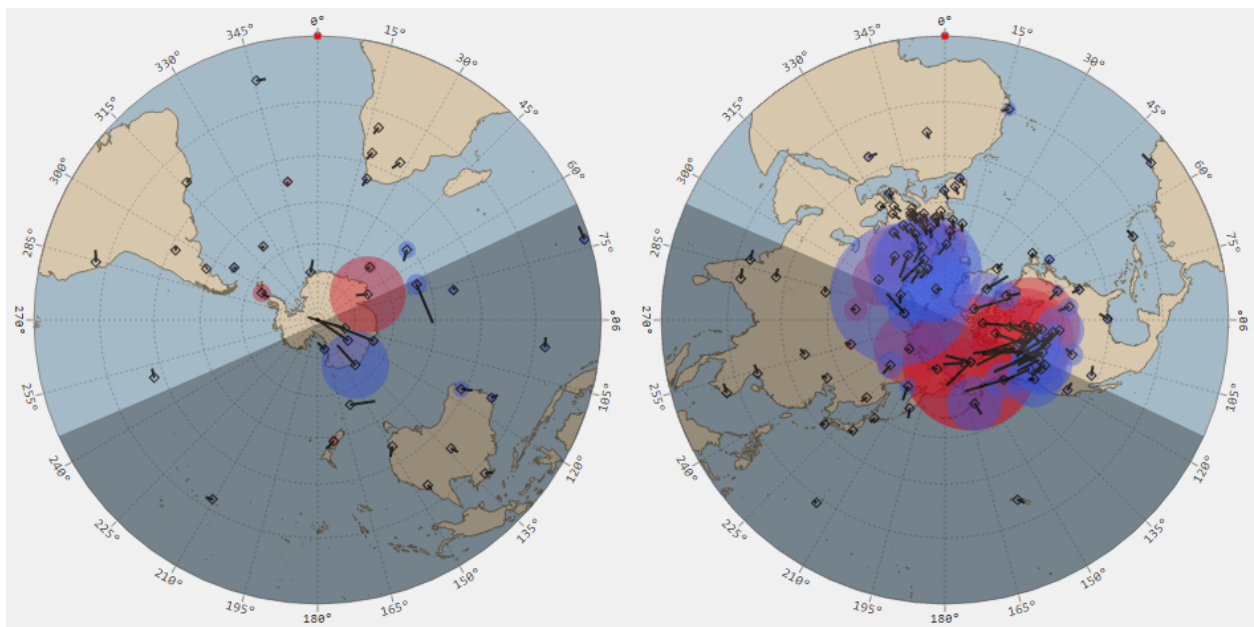


Рис. 2. Карта эквивалентных ионосферных токов стереографической проекции

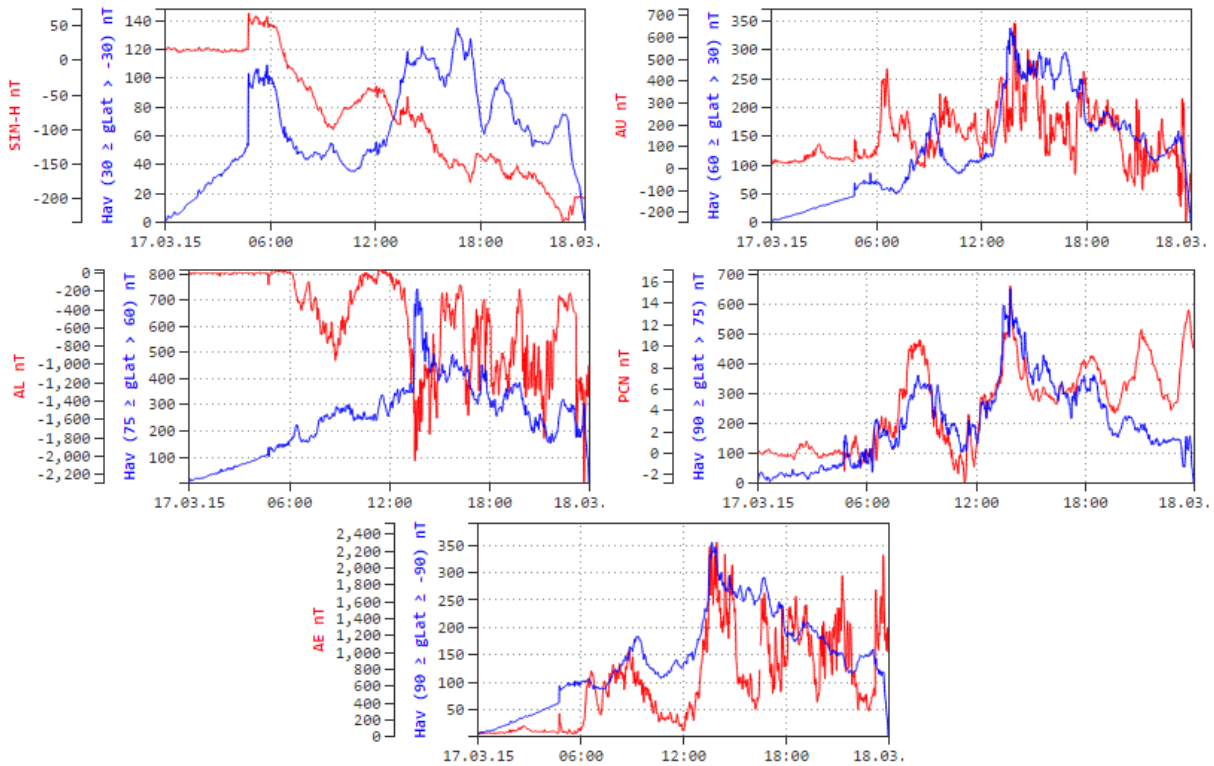


Рис. 3. Сравнение общепринятых индексов и значений H_{av}

(суббуре подобные возмущения). Полученные таким способом индексы, могут использоваться для оперативного глобального мониторинга геомагнитной активности в задачах программы космической погоды и позволяют получить дополнительную информацию для диагностики космической погоды.

Список литературы

Пархомов В.А. Проблемы и инструменты геомагнитного мониторинга // Изв. Иркутской государственной экономической академии. 2016. Т. 26, № 2. С. 300–311. DOI: 10.17150/1993-3541.2016.26(2).

Bartels J., Heck N.H., Johnston H.F. The three-hour range index measuring geomagnetic activity // Geophys. Res. 1939. V. 44. P. 411–454.

Davis T.N., Sugiura M. Auroral electrojet activity index *AE* and its universal time variations // J. Geophys. Res. 1966. V. 71. P. 785.

Dmitriev A.V., Yeh H.C. Geomagnetic signatures of sudden ionospheric disturbances during extreme solar radiation events // J. Atmos. Terr. Phys. 2008. V. 70, no. 15, P. 1971–1984.

Sabben D. van. Solar flare effects and simultaneous magnetic daily variation // J. Atm. Solar-Terr. Phys. 1968. V. 30. P. 1641–1648.

Sugiura M., Kamei T. Equatorial *Dst* index 1957–1986, IAGA Bull. 1991. V. 40. ISGI Pub.

Troshichev O.A., Andrezen V.G., Vennerstrom S., Fris-Christensen E. Magnetic activity in the polar cap — A new index // Planet. Space Sci. 1988. V. 36. P. 1095.

URL: <http://carisma.ca/carisma-data/fgm-auroral-indices> (дата обращения 29.05.2017)

URL: <http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/mm210> (дата обращения 29.05.2017)

URL: <http://themis.ssl.berkeley.edu/index.shtml> (дата обращения 29.05.2017)

URL: http://www.ava.fmi.fi/image/il_index/ (дата обращения 29.05.2017)

URL: <http://www.intermagnet.org/> (дата обращения 29.05.2017)