

## 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  $60^\circ$  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  $70^\circ$  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/](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  $\Delta Z$ , 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  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  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  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  вычисляются значения  $\Delta H$  и  $\delta$ :

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

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

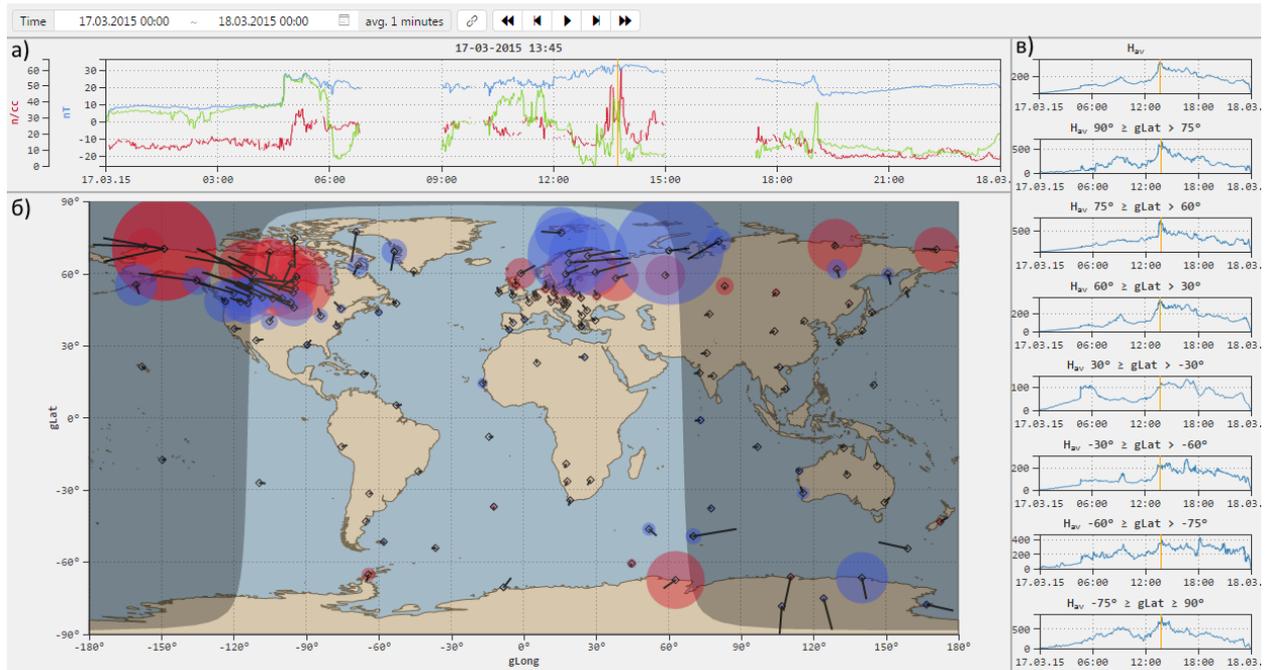


Рис. 1. Суточная карта эквивалентных ионосферных токов во время мощной магнитной бури 17.03.2015 г. (бура в день Св. Патрика):  
 а) вариации параметров СВ и ММП,  
 б) карта эквивалентных ионосферных токов,  
 в) средние значения величины напряженности магнитного поля, индуцированные эквивалентным ионосферным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

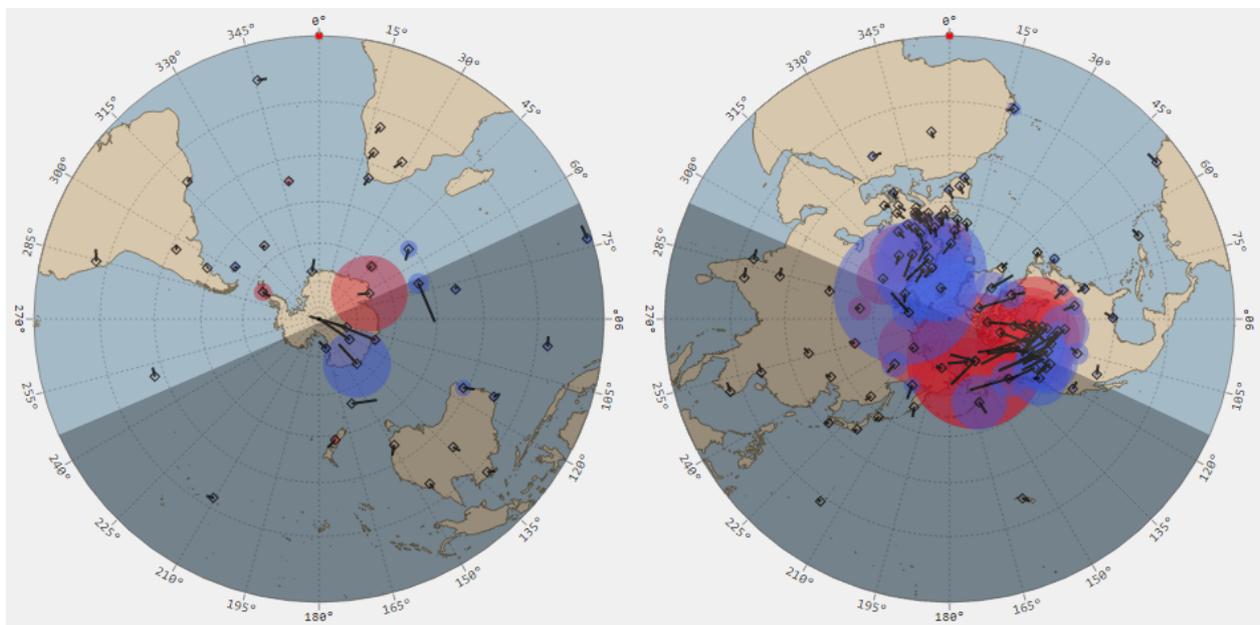


Рис. 2. Карта эквивалентных ионосферных токов стереографической проекции

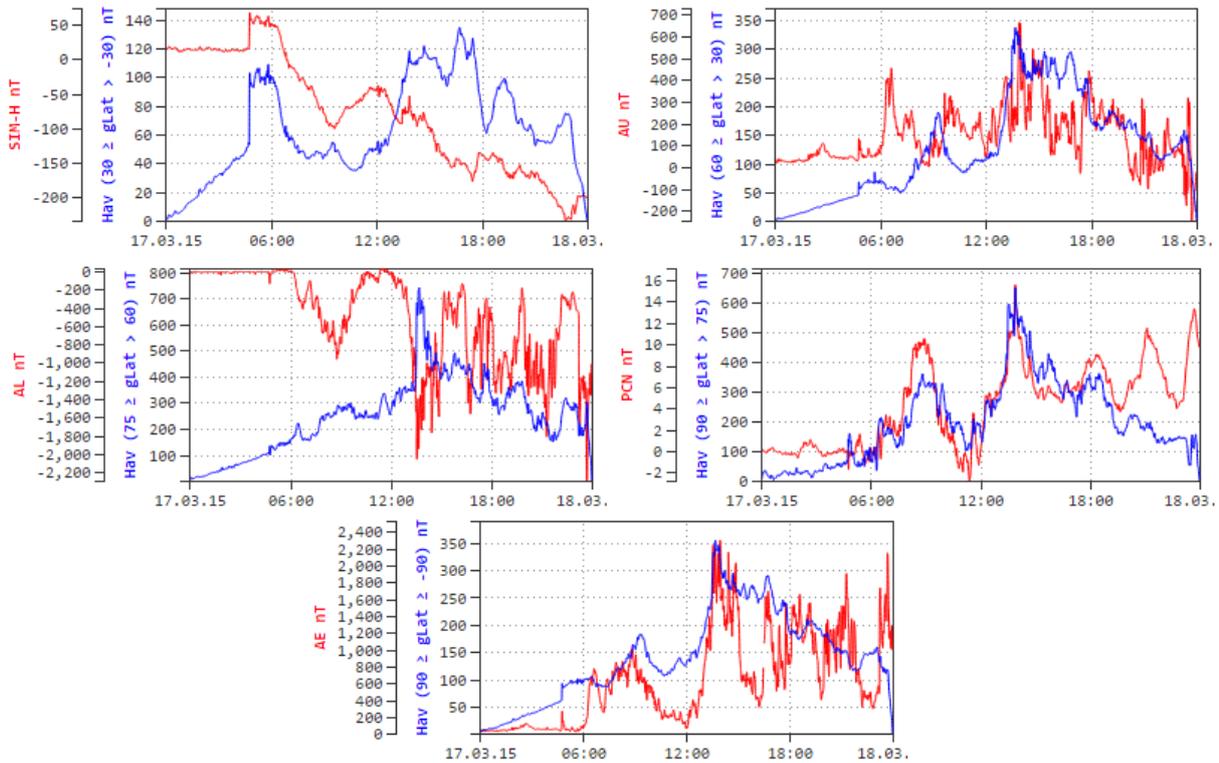


Рис. 3. Сравнение общепринятых индексов и значений  $H_{av}$

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

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