



## ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ

А.Е. Левитин, Л.И. Громова, С.В. Громов, Л.А. Дремухина

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк, Москва, 142090, Россия

### Введение

Геомагнитная активность сегодня чаще всего характеризуется индексами активности  $K$ ,  $K_p$  и  $Dst$ , разработанными еще более полувека тому назад. Под геомагнитной активностью (магнитной возмущенностью) понимается, что это вариация переменного геомагнитного поля за определенный промежуток времени характеризуется величиной, выражающей степень возмущенности магнитного поля. Если магнитное поле за какой-то промежуток времени остается неизменным, то магнитная активность за этот период считается равной нулю. Если же происходят сильные изменения магнитного поля, то магнитная активность достигает большой величины. При этом магнитная активность тем больше, чем больше амплитуда колебаний элементов земного магнетизма (компонент вектора магнитного поля), а также чем больше колебаний происходит в единицу времени [Яновский, 1953]. Именно такому представлению о геомагнитной активности и отвечает  $K$  индекс, введенный в 1939 году.

Одновременно отдельными исследователями делались попытки представить магнитную активность объективным числом [Яновский, 1953]. Одной из таких оценок являлось число, пропорциональное изменению магнитной энергии за данный промежуток времени. Потенциальная энергия однородного магнитного поля в одном кубическом сантиметре выражалась ими соотношением:  $(H^2 + Z^2)/8\pi$ , где  $H$  - горизонтальная и  $Z$  вертикальная составляющие вектора магнитного поля.

По нашему мнению, современный подход к количественному определению наземной геомагнитной активности должен опираться на подобный способ расчета магнитной энергии переменного магнитного поля Земли, создаваемой токовыми системами, которые контролируют динамику геомагнитной активности.

### Метод количественной оценки геомагнитной активности

Мы предлагаем применить метод количественной оценки наземной активности переменного магнитного поля Земли, основанный на использовании часовых данных геомагнитных измерений мировой сети магнитных обсерваторий в период 2009 [Левитин, 2013, 2014]. Такие данные используются нами в качестве уровней отсчета часовых амплитуд геомагнитных измерений на сети наземных обсерваторий, так как 2009 год был самым магнитно спокойным годом солнечной, и соответственно, геомагнитной активности за весь период проведения качественных обсерваторских измерений. Это позволяет получить амплитуды часовых значений локальной наземной активности переменного магнитного поля Земли на обсерваториях мировой сети за все предыдущие и последующие годы, названные  $Hizm$ .

Таким способом были обработаны данные 102 обсерваторий северного полушария и 26 обсерваторий южного полушария, для которых мировые центры данных представляют достаточно длинные ряды данных, включающие данные 2009 года.

Введем некоторую энергетическую оценку геомагнитной активности, основанную на  $Hizm$ , как квадрат часовой амплитуды, рассчитанной описанным выше методом  $H$  компоненты, т.е.  $Hizm^2$ .

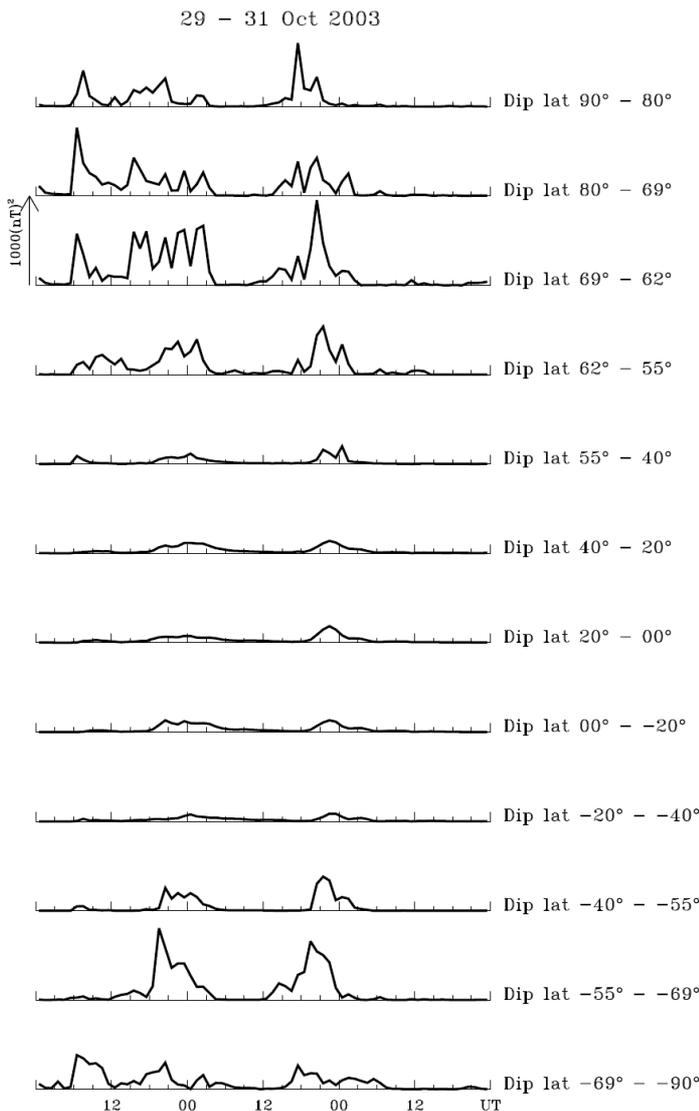
**Таблица 1.** Соответствие выбранных поясов северного полушария областям определения классических индексов геомагнитной активности. Координаты дипольные.

Номер пояса	Границы области.	Характеристика области
I	00° - 20°	Экваториальная область
II	20° - 40°	Область определения $Dst$ -индекса
III	40° - 55°	
IV	55° - 62°	Область определения $K_p$ -индекса
V	62° - 69°	
VI	69° - 80°	Область определения индексов $AU$ , $AE$ , $AL$
VII	80° - 90°	Переходная зона от области высокоширотных токовых Область определения индекса $PC$

Разделим каждое полушарие на «пояса» шириной по 15°-20° таким образом, чтобы в каждом из «поясов», по аналогии с технологией расчета  $Dst$ -индекса, находились по 4 обсерватории, по возможности расположенные симметрично в каждом из четырех долготных сегментов по 90°. Северное полушарие

разделено по пространству на 7 широтных поясов. Эти пояса соответствуют общепринятым областям определения классических индексов геомагнитной активности. Обсерваторий южного полушария, которых значительно меньше, распределены в 5 поясах.

Три более низких пояса совпадают с поясами в северном полушарии, более высокий пояс (-55° - -69°) вынужденно объединяет часть области определения  $K_p$ -индекса с областью определения индексов  $AU$ ,  $AE$ ,  $AL$ . Так же в одну область приполюсную объединены переходная зона от области высокоширотных токовых систем к полярной шапке и полярная шапка. В Таблице 1 описано соответствие каждого пояса северного полушария областям определения классических индексов геомагнитной активности. Используя полученные нами значения  $Hizm$ , для каждой обсерватории в каждом поясе вычисляется  $Hizm^2$ . Среднее арифметическое по обсерваториям каждого пояса рассчитывается подобно расчетам индекса  $Dst$ . Таким образом, мы получим величины (названные нами  $Hv$ ) - средние значения квадратов амплитуд  $Hizm$  по



**Рисунок 1.** Распределение геомагнитной активности, представленной энергетической оценкой  $Hv$ , по выбранным поясам от Северного полюса до Южного во время бури 29-31 Октября 2003. Показаны вариации  $Hv$  и дипольные границы поясов северного и южного полушария.

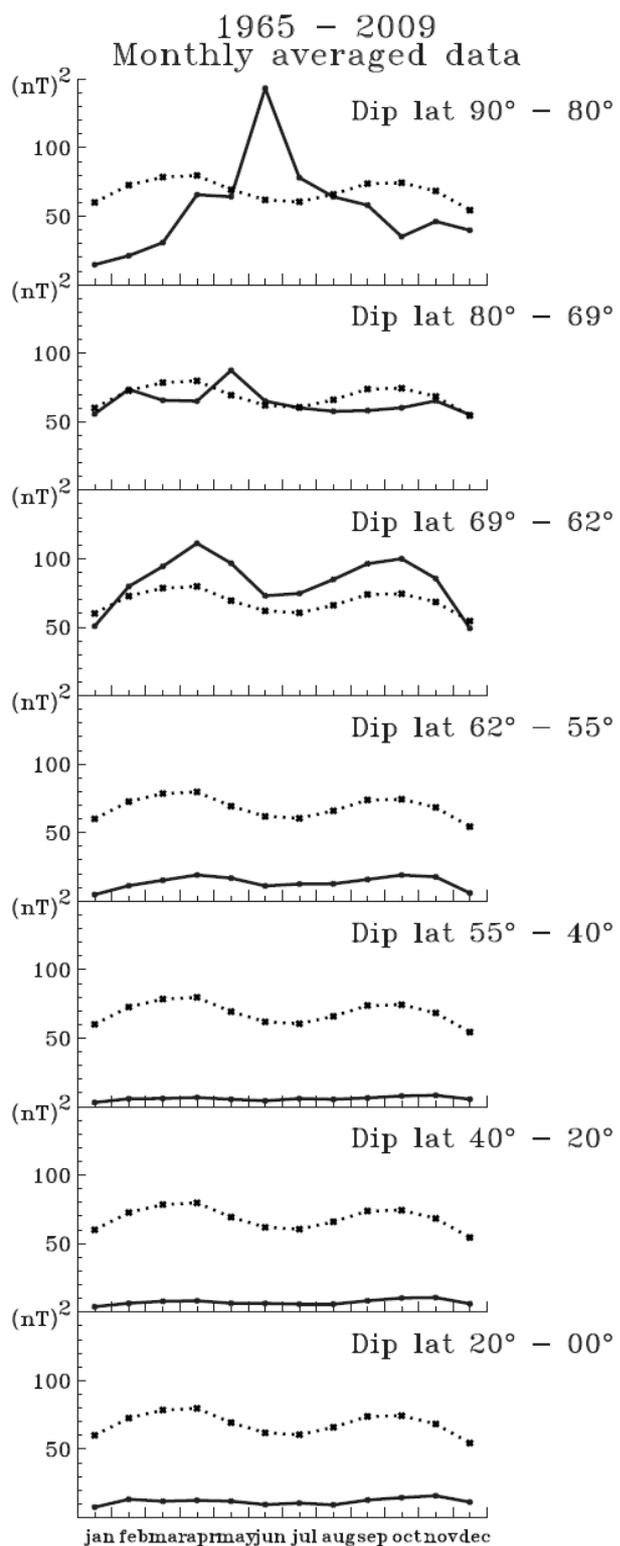
летний сезон в северном полушарии соответствует зимнему сезону в южном, и наоборот. И только сезон равноденствия наступает одновременно в разных полушариях планеты. На рис. 1 показано, как изменяется геомагнитная активность во время большой равноденственной бури 29 - 31 октября 2003 года ( $Dst_{min} = -383$  nT) в северном и южном полушариях. Отметим подобие развития возмущения: наибольшие значения энергетической оценки геомагнитной активности одинаково присущи широтным поясам выше 40°. В экваториальных широтах, как и ожидалось, повторяется ход  $Dst$ -индекса.

поясам, которые с нашей точки зрения характеризуют среднечасовую плотность энергии переменного магнитного поля в выбранном поясе.

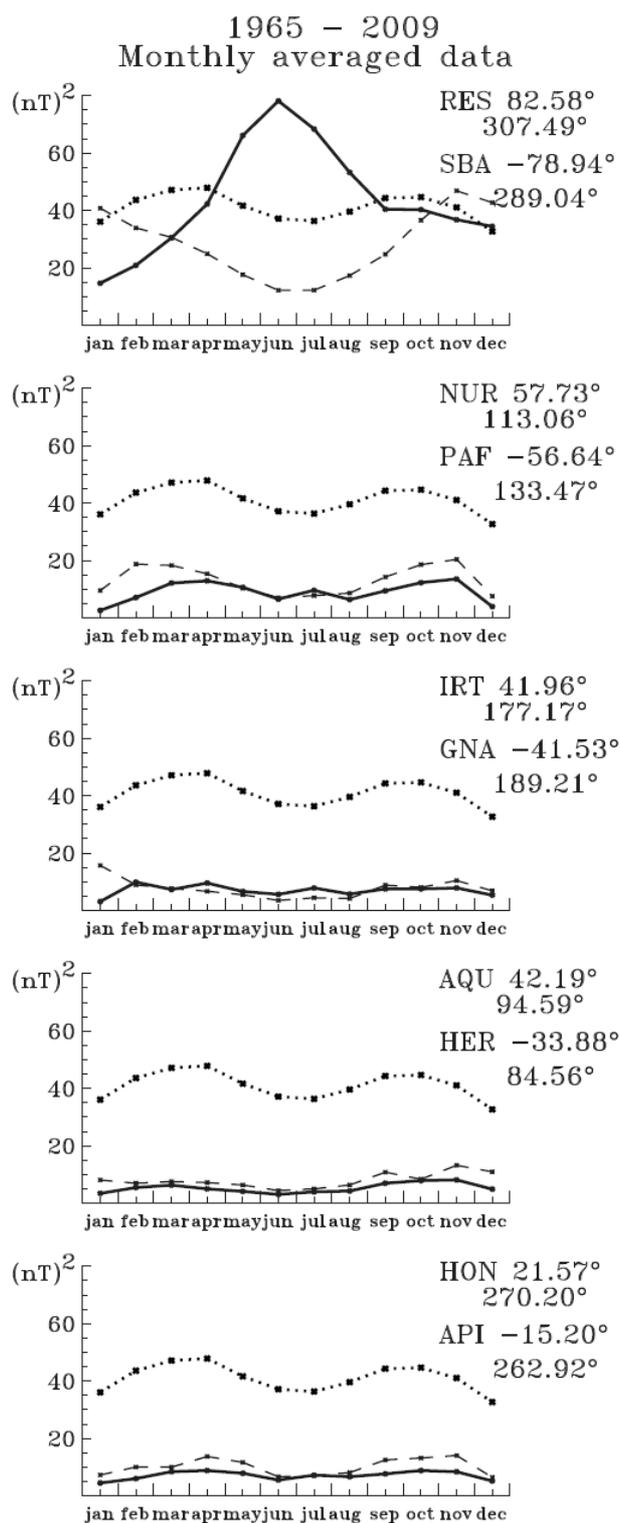
### Геомагнитная активность в северном и южном полушариях Земли

Основная часть энергии наземной части переменного геомагнитного поля сосредоточена в областях высоких широт двух полушарий планеты. А наибольшее поступление этой энергии происходит в периоды магнитных бурь. При этом главные фазы магнитных бурь, в периоды которых генерируются самые большие амплитуды геомагнитной активности, составляют в сумме всего порядка 5 – 7% времени года. Но именно эти проценты и определяют уровень годовой геомагнитной активности, которую принято оценивать на основе  $K_p$  индекса. На самом деле этот индекс, который специально рассчитывается на основе данных обсерваторий, расположенных в субавроральной области северного полушария, контролирует ситуацию, когда развитие геомагнитного возмущения в авроральной области высокоширотного пространства приводит к смещению авроральных токов в сторону экватора. При этом наиболее важно контролировать данные высокоширотных обсерваторий, которые и определяют главным образом геомагнитную активность в данном году.

Наличие двух полушарий Земли требует учитывать ситуацию разных сезонов года в этих полушариях:



**Рисунок 2.** Северное полушарие. Сезонный ход энергетической оценки геомагнитной активности ( $Hizm^2$ ) по поясам (сплошная линия). Точечной линией изображена кривая сезонного хода индекса  $A_p$ .



**Рисунок 3.** Сопряженные станции северного и южного полушарий. Сезонный ход энергетической оценки геомагнитной активности ( $Hizm^2$ ) на сопряженных станциях: сплошная линия - станция северного полушария, штриховая - сопряженная станция южного полушария. Точечной линией изображена кривая сезонного хода индекса  $A_p$ .

## Сезонный ход геомагнитной активности в северном и южном полушариях Земли

Традиционно оценка сезонного хода опирается на индекс  $Kp(Ap)$ , значение которого рассчитывается по данным обсерваторий северного полушария. На рис. 2 представлен сезонный ход геомагнитной активности по поясам северного полушария Земли в сравнении с индексом  $Ap$ . Заметим, что  $Ap$ -индекс адекватно отображает геомагнитную активность, выраженную энергетической оценкой, только в средних широтах. Кардинальное расхождение просматривается на широтах выше  $69^\circ$ , в переходной зоне от области высокоширотных токовых систем к полярной шапке и в полярной шапке. Следовательно, энергия, поступающая в высокие широты, не учитывается при оценке планетарной геомагнитной активности с помощью индекса  $Kp(Ap)$ .

Мы полагаем, что реальная оценка сезонного хода наземной активности переменного геомагнитного поля должна проводиться на основе данных обсерваторий двух полушарий с учетом сезонного различия. Поскольку обсерваторий южного полушария значительно меньше, и ряды данных, которые ими предоставляются, имеют большие пропуски, провести анализ сезонного хода геомагнитной активности в южном полушарии, подобный анализу активности в северном, не представляется возможным. Был проведен сравнительный анализ сезонного хода локальных часовых амплитуд энергетической оценки наземного переменного геомагнитного поля между обсерваториями северного и южного полушарий, имеющими близкие широты и долготы, в сравнении с сезонным ходом индекса  $Ap$ . Местоположение каждой пары сопряженных обсерваторий примерно соответствует описанному выше разбиению на пояса. Как показывает рис. 2, ход сезонной активности на обсерваториях северного и южного полушария подобен с точностью до учета асимметрии сезонов года, и отличается от сезонного хода индекса  $Ap$  на обсерваториях, расположенных выше  $60^\circ$ . Такое сравнение позволяет делать осторожный вывод о том, что в целом сезонные ходы геомагнитной активности в обоих полушариях подобны. большой равноденственной бури 29 - 31 октября 2003 года ( $Dst_{min} = -383$  нТ) в северном и южном полушариях. Отметим подобие развития возмущения: наибольшие значения энергетической оценки геомагнитной активности одинаково присущи широтным. При этом вопрос о различии амплитуд энергетической оценки геомагнитной активности, и следовательно, о количестве энергии наземной части переменного геомагнитного поля в разных полушариях остается открытым.

## Заключение

Опираясь на уникальное магнитно спокойное состояние переменного магнитного поля Земли в 2009 году, обусловленное очень спокойным состоянием солнечной активности, мы используем часовые данные магнитных обсерваторий этого года как уровни отсчетов для выделения часовых данных, которые можно отнести к часовой геомагнитной активности локального наземного переменного магнитного поля планеты. Обработанные таким образом данные обсерваторий северного и южного полушарий используются нами для сравнительного анализа геомагнитной активности во время геомагнитных бурь и сезонного хода наземной геомагнитной активности переменного геомагнитного поля в разных полушариях.

Исследование было поддержано грантом РФФИ № 13-05-00233.

## Список литературы

- Левитин А. Е., Громова Л.И., Громов С.В., Дремухина Л.А. Как нам реорганизовать расчет геомагнитной активности // Proc.35-th Annual apatity seminar 'Physics of Auroral Phenomena', ISBN978-5-91137-226 -2. P.85-87. 2012
- Левитин А.Е., Громова Л.И., Громов С.В., Дремухина Л.А. Использование аномально спокойного состояния геомагнитного поля в период 2009 года для количественного представления геомагнитной активности, // Proc. 36-th Annual Apatity seminar 'Physics of Auroral Phenomena'. ISBN978-5-91137-182-1. P.33 – 36. 2013
- Левитин, А.Е., Л.И. Громова, С.В. Громов, Л.А. Дремухина, Количественная оценка локальной геомагнитной активности по данным обсерваторий, отсчитанная от уровня поля геомагнитно спокойных дней 2009 года, // Геомагнетизм и Аэрономия. Т. 54. №3. С. 315-323. 2014
- Яновский Б.М. Земной магнетизм // Издательство технико-теоретической литературы, Москва, 1953 г.