

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНОМАЛЬНО СПОКОЙНОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЕРИОД 2009 ГОДА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

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, 142090, Россия*)

Аннотация. Представлен метод расчета часовых амплитуд внешнего геомагнитного поля (геомагнитной активности) для каждого часа, каждого дня каждого года работы обсерватории. По ним предполагается определять амплитуду самого магнитновозмущенного и самого магнитноспокойного часа, самого магнитновозмущенного и самого магнитноспокойного дня, месяца и года за весь период обсерваторских измерений. Такие данные позволяют пользователю оценивать, как текущую геомагнитную активность, так и активность, которая была в периоды исследуемых им конкретных геофизических событий в прошлом. Распространение этого метода позволит получать более корректную, чем сегодня, информацию о состоянии геомагнитной активности на уровне земной поверхности. На основе такой информации можно строить карту текущей геомагнитной активности по территории всей планеты. Мы сможем характеризовать прошлую и текущую геомагнитную активность значительно более точно, чем характеризуем её сегодня на основе существующих индексов $AE(AU, AL)$, Kp , Dst , введенных более полувека тому назад и имеющие серьезные недостатки. Приводятся примеры использования описанного метода расчета локальной геомагнитной активности.

Введение

Геомагнитная активность сегодня, как и более полувека тому назад, характеризуется индексами активности, разработанными нашими предшественниками. Эти индексы отражают их представление о генераторах геомагнитных возмущений на уровне земной поверхности, которые регистрируются магнитными обсерваториями. Они полагали, что этими генераторами являются - двухмерная токовая система на уровне ионосферы, которая создается ионосферными ветрами (индекс Kp), и симметричный кольцевой ток (индекс Dst). Ими было принято следующее определение магнитной активности (магнитной возмущенности) – это вариация за определенный промежуток времени величиной, выражающей степень возмущенности магнитного поля. Если магнитное поле за какой-либо промежуток времени остается неизменным, то магнитная активность за это время считается равной нулю. Если же происходят сильные изменения магнитного поля, то магнитная активность достигает большой величины. Магнитная активность тем больше, чем больше амплитуда колебаний элементов земного магнетизма (компонент вектора этого поля), а также чем больше происходит колебаний в единицу времени. Именно такому представлению о геомагнитной активности отвечает K -индекс геомагнитной активности, введенный в практику магнитных обсерваторий в 1939 г.

Введенные с целью приблизительной числовой оценки временной динамики амплитуд геомагнитных вариаций, индексы геомагнитной активности получили широкое распространение. Многие пользователи не обращают внимания на то, что с высоты современного понимания физики магнитосферных процессов, эти долгоживущие индексы геомагнитной активности обладают рядом существенных недостатков, которые не позволяют им правильно отражать реальную геомагнитную активность. Предлагается новый метод количественного представления локальной наземной геомагнитной активности $Hizm$. Демонстрируются примеры характеристики интенсивности магнитных бурь классическими индексами Kp , Dst и с помощью вычисленной по предлагаемому методу геомагнитной активности $Hizm$.

Количественное описание геомагнитной активности $Hizm$

Количественное представление локальной наземной геомагнитной активности на основе H компоненты вектора переменного магнитного поля Земли, регистрируемую магнитной обсерваторией, используя её измерения в период магнитно спокойного 2009 г. в качестве уровня отсчета этой активности, мы сначала ввели на основе данных обсерватории ИЗМИРАН (обсерватория «Москва»), и обозначили ее как $Hizm$. Для количественного описания локальной геомагнитной активности нами выбрана H -компонента вектора геомагнитного поля, регистрируемого на обсерваториях мировой сети геомагнитных измерений. Она лучше других компонент этого вектора отражает динамику геомагнитных возмущений, создаваемых токовыми источниками переменного геомагнитного поля. Наш метод количественной оценки локальной геомагнитной активности включает в себя обработку среднечасовых геомагнитных данных обсерватории за период всех

лет её работы до 2009 г. В случае обработки этих данных при расчете $Hizm$ для обсерватории Москва, были использованы данные за 1958-2009 г.

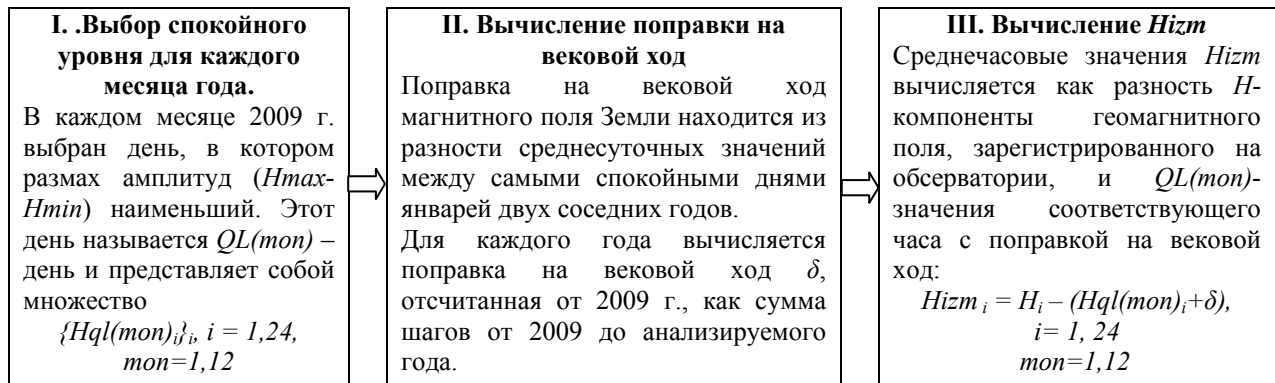


Рис. 1 Обработка данных для расчета количественной оценки геомагнитной активности ($Hizm$)

Год 2009 является уникальным годом очень спокойного состояния солнечной и, соответственно, геомагнитной активности, когда практически не наблюдались солнечные вспышки, именно поэтому он

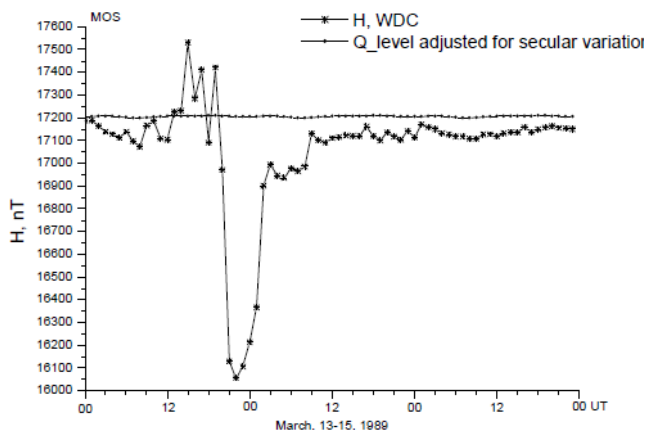


Рис. 2 Полный вектор компоненты H по данным МЦД и среднечасовые амплитуды H -компоненты, и спокойный уровень для отсчета геомагнитной активности с учетом поправки на вековой ход во время гигантской бури 13 - 15 марта 1989 г.

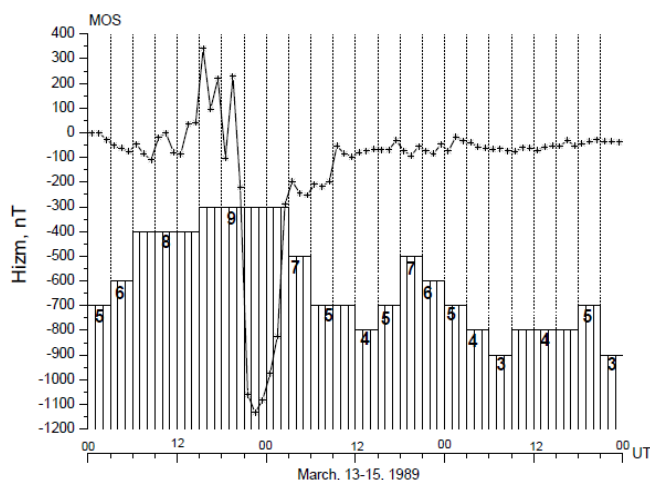


Рис. 3 Вариация оценки геомагнитной активности $Hizm$ во время гигантской бури 13 - 15 марта 1989 г. Цифрами показаны значения K -индекса для соответствующих 3-х часовых интервалов.

выбран нами для введения уровня отсчета геомагнитной активности для всех предыдущих и последующих лет наблюдений геомагнитного поля на обсерватории. Для каждого месяца 2009 г. из данных обсерватории выбирается самый геомагнитно спокойный день. Среднечасовые амплитуды H -компоненты выбранных геомагнитно спокойных суток далее вычитаются из часовых амплитуд всех предыдущих и последующих лет такого же месяца с учетом поправки на вековой ход. Поправка на вековой ход магнитного поля Земли находится из разности между двумя самыми спокойными днями января двух соседних годов. Мы считаем, что такой способ оценки векового хода лучше, чем его оценка на основе разности среднегодовых амплитуд компонент вектора геомагнитного поля двух соседних годов. Таким образом, мы получили часовые амплитуды $Hizm$ в нТл для каждого часа каждого дня всех лет работы обсерватории, которые представляют собой численную характеристику локальной геомагнитной активности.

Схема расчета количественной оценки локальной геомагнитной активности приводится на рис. 1. Суточные данные обсерватории Москва, как и данные всех обсерваторий мировой сети геомагнитных измерений, направляются в Мировые Центры Данных (МЦД) в формате таблиц часовых значений измеренных компонент вектора геомагнитного поля, одновременно туда направляются рассчитанные значения K индексов. Определим уровень отсчета геомагнитной активности как значения H -компоненты самого спокойного для марта 2009 г. (6 марта) с учетом поправки на вековой ход от 2009 до 1989 (см. схему на рис. 1). На рис. 2 показаны значения H -компоненты вектора переменного магнитного поля, зарегистрированные на обсерватории Москва в период очень мощной магнитной бури за период

13 - 15 марта 1989 г., в том виде, в котором они представлены в МЦД, и среднечасовые амплитуды H -компоненты, которые являются уровнем отсчета с учетом поправки на вековой ход.

Результат вычитания полученных значений спокойного уровня из результатов измерений H -компоненты представляет собой количественную оценку локальной геомагнитной активности $Hizm$ на обсерватории Москва за период 13 – 15 марта 1989 г., распределение которой демонстрируется на рис. 3. Одновременно на рис.3 показаны K -индексы обсерватории в период бури, рассчитываемые по стандартному алгоритму. Хорошо видно, что современные K -индексы некорректно отражают амплитуды геомагнитного возмущения во время мощной магнитной бури, регистрируемой вариацией $Hizm$. Это связано с тем, что K -индексы определяются внутри трех часовых интервалов по двум точкам измерения – максимальной и минимальной амплитуды возмущения, что не дает этим индексам правильно отражать временную динамику геомагнитной активности в период магнитных бурь.

Характеристика интенсивности магнитных бурь индексами Kp , Dst и геомагнитной активностью $Hizm$

Для иллюстрации представления геомагнитной активности индексами Kp , Dst и введенной нами геомагнитной активностью $Hizm$ анализировались бури разной интенсивности:

Гигантская

$Dstmin < -300$ nT (29-31 октября 2003 г.)

Очень большая

-300 nT $< Dstmin < -200$ nT (21-23 октября 1999 г.)

Большая

-200 nT $< Dstmin < -100$ nT (20-22 октября 2001 г.)

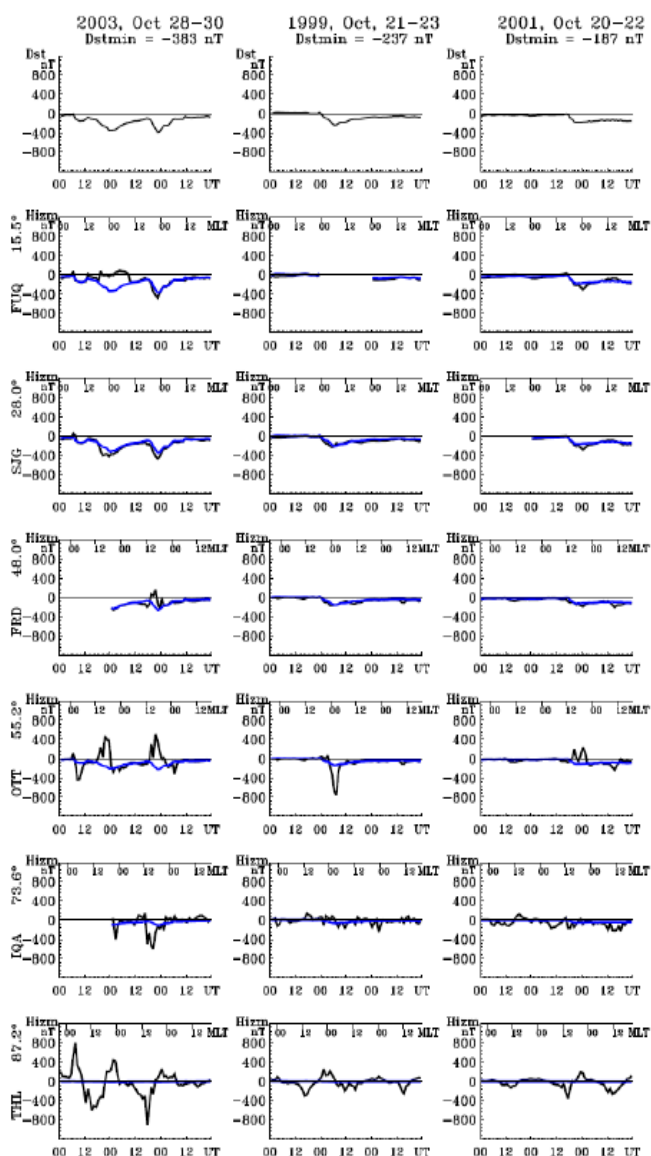


Рис. 4 Вариации $Hizm$ (черная сплошная), вычисленной для обсерваторий SJG-цепочки во время бурь разной интенсивности. Синим цветом помечена вариации произведений Dst -индекса на косинусы широт соответствующих обсерваторий. Для каждой обсерватории указаны ее дипольные координаты.

Индекс Dst был введен в геомагнетизм для количественной оценки интенсивности магнитных бурь. При этом полагалось, что магнитная буря создается кольцевым током, расположенным в экваториальной плоскости планеты. Именно такое представление и отразилось на выборе расположения обсерваторий, по геомагнитным данным которых и должен проводиться его расчет. Сегодня мы понимаем, что пространственная структура кольцевого тока в периоды достаточно сильных магнитных бурь далека от такой простой формы. Кроме того, мы понимаем, что в создании геомагнитного наземного возмущения во время бури принимают участие и другие токовые магнитосферные и магнитосферно-ионосферные токовые системы. На основе нашего метода расчета часовых амплитуд внешнего геомагнитного поля можно увидеть несовершенство Dst индекса, что мы и демонстрируем ниже. При наличии модели кольцевого тока, на которую опирались авторы этого индекса, должно выполняться следующая картина. Геомагнитная возмущенность в период магнитной бури на уровне земной поверхности должно убывать от экватора в сторону высоких широт по косинусу широты. Соответственно, магнитное возмущение на уровне широт обсерваторий, по которым рассчитывается индекс, должно быть выше, чем на обсерваториях, расположенных выше по широте, но не попадающих в область высоких широт.

Для иллюстрации этого факта была выбрана цепочка (SJG-цепочка) обсерваторий FUQ-SJG-FRD-OTT-IQA-THL, в которой SJG – станция *Dst*-индекса, станция FRD и OTT – обсерватории *Kp*-индекса, расположенные в средних широтах, а THL и IQA — высокоширотные станции. Кроме того, по дипольной долготе станции расположены в пределах 30° («средней» станцией, от которой отсчитывается ±15° считается станция SJG), а, следовательно, мировое время (UT) на станциях цепочки отличается в пределах двух часов.

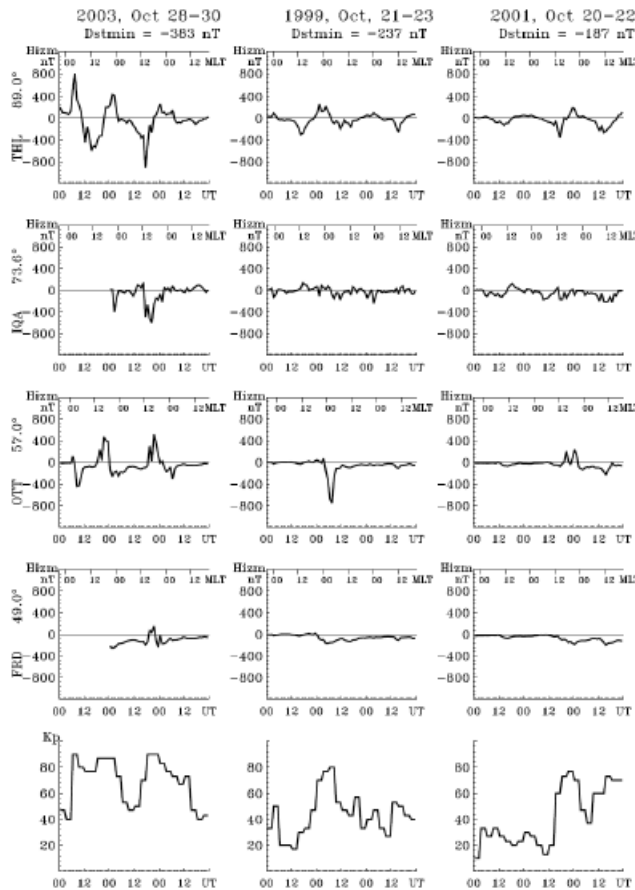


Рис. 5 Вариации *Hism* на станциях FRD-цепочки во время магнитных бурь разной интенсивности в сравнении с индексом *Kp*. Для каждой обсерватории указаны ее дипольные координаты, на нижней оси указано время UT, на верхней – локальное магнитное время MLT.

Рассмотрим цепочку (FRD-цепочка) обсерваторий FRD-OTT-IQA-THL, в которой FRD и OTT – обсерватории *Kp*-индекса, расположенные в средних широтах, а THL и IQA — высокоширотные станции. По дипольной долготе станции расположены в пределах 30° («средней» станцией считается станция FRD). На рис.5 изображены вариации *Hism*, вычисленной для обсерваторий FRD-цепочки во время рассматриваемых бурь, слева указаны дипольные координаты выбранных станций. Видно, что чем сильнее магнитная буря, тем сильнее влияние высокоширотных токовых систем на геомагнитное поле, регистрируемое на станциях *Kp*-индекса: при наиболее сильных геомагнитных возмущениях эффект наблюдается на более южной станции FRD (48°), в то время как при слабых бурях он минимален даже на обсерватории OTT(55°).

Заключение

Представленный новый метод количественного представления геомагнитной активности *Hism* и продемонстрированные примеры сравнения характеристики интенсивности магнитных бурь классическими индексами *Kp*, *Dst* и с помощью вычисленной по предлагаемому методу геомагнитной активностью позволяет выявить недостатки классических индексов и получить более реальную количественную характеристику локальной геомагнитной активности в районе расположения обсерватории в моменты сильных магнитных возмущений.

Работа поддержана грантом РФФИ №11-0500306.

Координаты выбранных станций, показано расположение всех станций *Dst*-индекса, среди которых выделен описанный выше долготный сектор.

На рис. 4 изображены вариации *Hism*, вычисленной для обсерваторий SJG-цепочки во время выбранных бурь, дипольные координаты станций цепочки показаны слева. Синими линиями обозначены вариации. Чем ниже расположена станция, тем ближе указанные вариации, а чем выше станция — тем сильнее расхождения. Видно, что чем ниже расположена станция, тем ближе указанные вариации, а чем выше станция — тем сильнее расхождения. Это означает, что в более низких широтах преобладающее возмущение действительно создает кольцевой ток, а в более высоких широтах его создают и другие токовые системы, в первую очередь, высокоширотные, которые могут смещаться во время бури в сторону экватора. На это указывает то, что во время более слабых геомагнитных возмущениях, указанное подобие графиков сохраняется до более высоких широт, а во время сильных магнитных бурь нарушается на гораздо более низких широтах, что говорит о некорректности *Dst*-индекса. На самом деле, расчет наземной геомагнитной активности надо делать на основе расчета энергии, содержащейся в геомагнитных вариациях.

Во время сильных геомагнитных возмущений высокоширотные токовые системы оказывают существенное влияние на показания магнитометров, размещенных на станциях *Kp*-индекса в средних широтах. Чем сильнее магнитная буря, тем сильнее указанный эффект.