

ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ В ПОЛЯРНОЙ ШАПКЕ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ СЕВЕРНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЕ ММП

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, Московская обл., Россия*)

Аннотация. На основе нового метода обработки данных магнитных обсерваторий северной полярной шапки демонстрируются геомагнитные возмущения, возникающие в этой области высокоширотного пространства в периоды взаимодействия с магнитосферой межпланетного магнитного поля (ММП), вектор которого имеет высокоамплитудную северную вертикальную компоненту ($B_z \gg 1 \text{ нТл}$). Эти возмущения можно рассматривать как суббури и бури в полярной шапке при положительной вертикальной компоненте вектора ММП. Они генерируются проникающим в неё, в течение нескольких часов подряд (от 2-3 часов до >10 часов), вдоль открытых силовых линий геомагнитного поля, электрическим полем солнечного ветра ($V \cdot B_z$) при $B_z \gg 1 \text{ нТл}$. Возмущения присущи только полярной шапке и при их наличии значительного усиления токовых систем в области авроральной зоны не происходит. Мы полагаем, что они возникают при прохождении Земли через солнечные корональные выбросы, когда траектория этого прохождения проходит через внутреннюю область выброса, в котором присутствует высокоамплитудное южное межпланетное магнитное поле.

Введение

Ситуации в межпланетном магнитном поле вблизи магнитосферы Земли, которые определяют геомагнитную активность в области высоких широт, обычно принято делить на три класса по знаку и амплитуде B_z компоненты вектора ММП:

- 1) $B_z > 1 \text{ нТл}$, что является показателем спокойного состояния магнитосферы и отсутствием значительных геомагнитных возмущений в области аврорального овала; возмущения в этот период смещаются в область полярной шапки;
- 2) $B_z < -1 \text{ нТл}$, что является показателем возмущенного состояния магнитосферы и присутствием значительных геомагнитных возмущений в области аврорального овала, которые превосходят возникающие возмущения в других областях пространства высоких широт;
- 3) $1 \text{ нТл} \geq B_z \geq -1 \text{ нТл}$ (ситуация при $B_z \approx 0$), что является показателем переходного состояния магнитосферы от одного состояния её активности к другому, которое все же находится ближе к спокойному состоянию магнитосферы, когда отсутствуют значительные геомагнитные возмущения в области аврорального овала.

Количественное описание геомагнитной активности

Геомагнитная активность, которую регистрируют на основе обсерваторских наблюдений, определяется динамикой интенсивности магнитосферных токовых систем и проводимости ионосферы. Контролируя на количественном уровне эту активность, мы контролируем электромагнитное состояние околоземной среды, а через него и энергетическое состояние магнитосферы. В течение более полувека геомагнитная активность характеризуется индексами (K , K_p , Dst , AE , PC и др.), которые имеют ряд серьезных недостатков, что неоднократно отмечалось исследователями. Последний минимум 11-летнего солнечного цикла был аномальным по своей продолжительности и по необычайно низкой солнечной и, соответственно, геомагнитной активности в период 2007-2009 гг., что дает возможность использовать данные обсерваторий мировой сети в эти годы как уровень отсчета геомагнитной возмущенности на обсерватории.

Создание новой шкалы геомагнитной активности, отражающей амплитуду каждого среднечасового отклонения компонент вектора геомагнитного поля, регистрируемого обсерваторией от спокойного уровня указанных трех лет, позволит характеризовать геомагнитную активность в форме карты распределения этих отклонений на мировой сети магнитных измерений. Можно будет впервые наблюдать в реальном масштабе времени реальную пространственную структуру геомагнитного возмущения в периоды магнитосферных суббурь и магнитных бурь. Эта новая шкала позволит более корректно, чем сегодня, провести классификацию интенсивности геомагнитной погоды, а на ее основе классификацию энергетического состояния магнитосферы. Она даст возможность на количественном уровне распределить по ранжиру геомагнитную активность, которая была на планете за предыдущие годы (по крайней мере, за годы спутниковой эры), и выделить за этот период наиболее и наименее возмущенные часы, дни, недели, месяцы, сезоны внутри года. Такая шкала даст возможность классифицировать текущую геомагнитную активность на основе статистики этой активности за предыдущий период ее регистрации.

Часовые геомагнитные вариации относятся к числу наиболее изученных вариаций. Это связано с тем, что непрерывная регистрация их наземными магнитометрами в обсерваториях ведется уже много лет. Такие измерения обеспечивают сегодня важную часть общей информации о состоянии магнитосферы на основе индексов геомагнитной активности и определения в реальном масштабе времени начала и фаз магнитосферных бурь и суббурь. Зоны локальных максимумов геомагнитной активности на земной поверхности соответствуют основным зонам высыпаний энергичных частиц и позволяют идентифицировать отдельные области и границы магнитосферы. Связь фиксируемых в обсерваториях геомагнитных вариаций с параметрами межпланетной среды используются для построения моделей магнитосферных токовых систем. Важным преимуществом наземных измерений геомагнитных вариаций по сравнению со спутниковыми измерениями является то, что они позволяют следить за состоянием магнитосферы на непрерывной основе. Если спутник в каждый момент времени отображает электромагнитную ситуацию в отдельной точке околоземного пространства, то проведение наземных измерений позволяет отображать её одновременно в солидном пространственном объеме.

Новый метод описания часовых амплитуд компонента вектора геомагнитного поля на обсерватории включает в себя обработку геомагнитных обсерваторских данных за период 2007-2009 гг., среди которых 2009 г. общепризнан годом самого спокойного состояния солнечной и геомагнитной активности. Для каждого месяца 2009 г. выбирается самый геомагнитно спокойный день. Он является уровнем отсчета геомагнитной активности для всех предыдущих последующих лет обсерваторских наблюдений геомагнитного поля в обсерватории для данного месяца года. Амплитуды всех часов этого дня далее вычитаются из часовых амплитуд всех предыдущих и последующих лет такого же месяца. Поправка на вековой ход магнитного поля Земли обычно находится из разности среднегодовых амплитуд компонента вектора геомагнитного поля двух соседних годов. Таким образом, мы получаем часовые амплитуды для каждого часа каждого дня всех лет работы обсерватории в нТл. Теперь, получив количественную картину часовых амплитуд за годы работы обсерватории, мы можем определить самый магнитно-возмущенный час, самый магнитно-возмущенный день, месяц и год за этот период. На основе этих данных можно получить шкалу оценки возмущенности любого часа, дня, месяца, года в прошлом и в настоящем относительно этих максимумов. Если этот метод распространить на все существующие обсерватории, то можно получить возможность строить карту текущей геомагнитной активности по территории всей планеты.

Анализ геомагнитной активности в полярной шапке при значительной северной вертикальной компоненте ММП

Мы опробовали описанный выше метод представления геомагнитной активности для обсерватории ИЗМИРАН и применили его для четырех обсерваторий северной полярной шапки, для которых имеются длинные ряды данных. На рис.1 приводится пример такой оценки по распределению H -компоненты геомагнитного поля. Амплитуды компоненты H отсчитаны от спокойного уровня, рассчитанного для каждой станции описанным выше методом, что позволяет оценивать изменение магнитного поля на разных станциях не только качественно, но и количественно, и позволяет выявить события, когда амплитуды H компоненты были значительными в течение несколько часов подряд и сравнить их пространственное распределение.

Согласно модели ИЗМИРАН [Feldstein and Levitin, 1986] в периоды, когда амплитуды B_z ММП в течение нескольких часов подряд (от 2-3 часов до > 10 часов), были значительно больше, чем 1нТл, должны возникать значительные возмущения компонента геомагнитного поля в полярной шапке, но при этом значительные геомагнитные возмущения в области авроральных широт должны отсутствовать. Проанализировав данные ММП на уровне орбиты Земли за 1964-2009 гг. мы выбрали события, когда значения северной B_z компоненты были значительными в течение достаточно длинных интервалов, и получили связь значительных амплитуд часовых значений геомагнитного поля на обсерваториях полярной шапки с состоянием ММП.

На рисунках 1 и 2 приводится характеристика двух событий, во время которых B_z оставалась большей, чем 7 нТл, в течение 27 (рис. 1) и 13 (рис. 2) часов подряд. Каждое событие характеризуется параметрами ММП и солнечного ветра. Геомагнитная активность показана стандартными индексами. Отметим, что в рассматриваемый интервал на двух наиболее высоких станциях регистрируются возмущения, ослабевающие с широтой. Индекс AL в то же время не показывает какого-либо повышения активности в авроральной зоне.

Несомненной причиной роста геомагнитной активности в полярной шапке при положительной B_z ММП является прямое проникновение электрического поля солнечного ветра прямо из межпланетной среды вдоль этого поля. Природа высокоамплитудной $B_z \gg 1$ нТл компоненты ММП может быть, по нашему мнению, связана с её присутствием в корональных выбросах солнечной плазмы, в первую очередь в магнитных облаках. Наши исследования связи геомагнитной активности в периоды магнитных бурь с магнитными облаками, [Бархатов, 2008; Бархатов, 2009] привели к следующему выводу.

1980, May, 9–11 (Bz)7nT, 27hr)

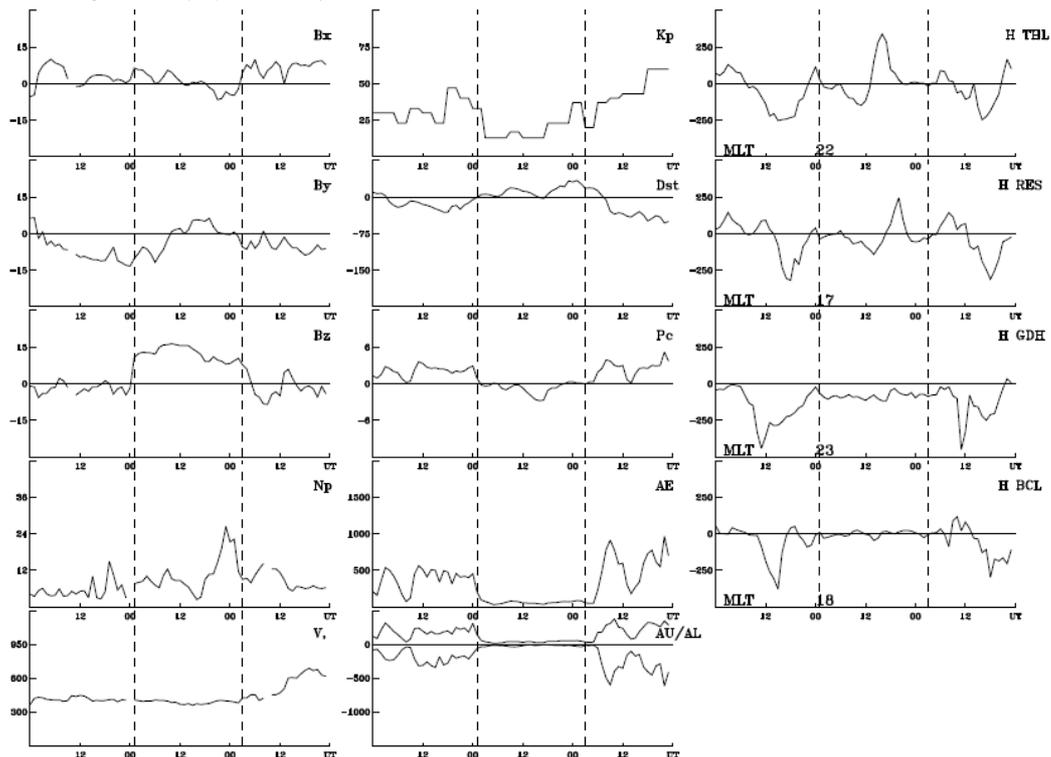


Рис.1 Событие 8-11 мая 1980 г. B_z остается большей, чем 7 нТл, в течение 27 часов (вертикальными линиями отмечен соответствующий интервал для всех анализируемых параметров). Левая панель (сверху вниз): B_x , B_y , B_z компоненты ММП; плотность N_p , скорость V ; средняя панель: индексы геомагнитной активности K_p , Dst , P_c , AE , AL/AU ; правая панель: отклонений H -компоненты геомагнитного поля на обсерваториях Thule, Resolute Bay, Godhavn, Baker Lake. Час MLT показывает положение станции в начале рассматриваемого интервала.

1998, Jun, 24–26 (Bz)7nT, 13hr)

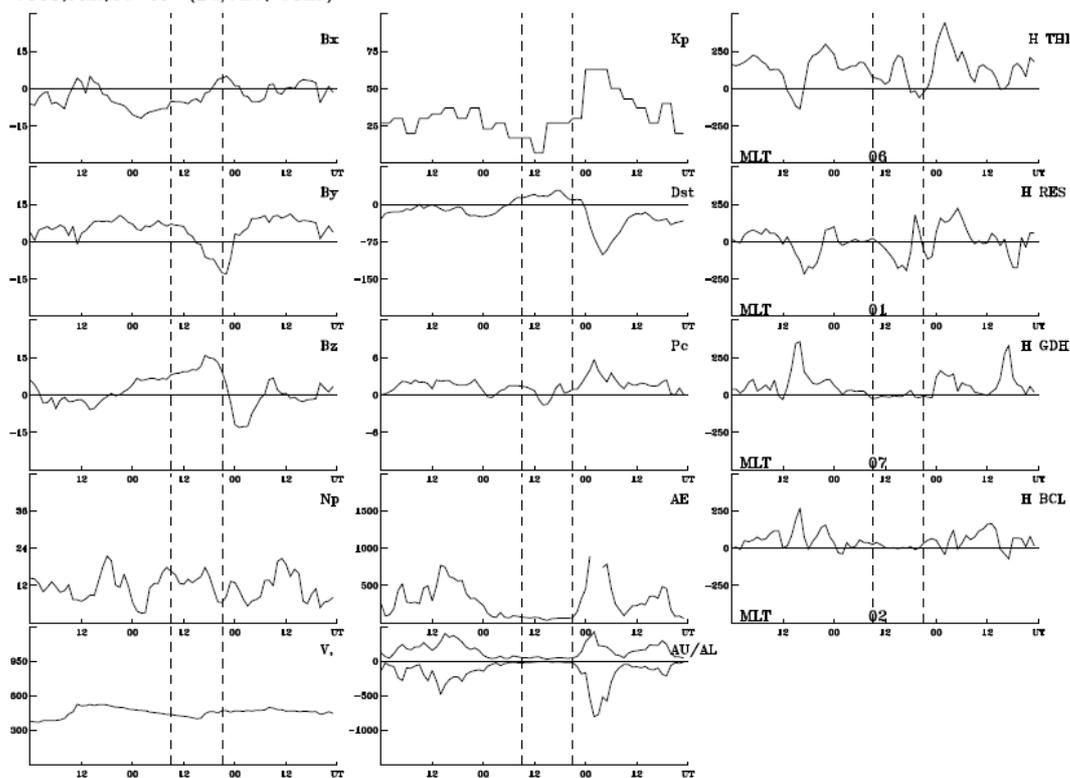


Рис. 2 То же, что на рис. 1 для события 24-26 июня 1998 г. B_z остается большей, чем 7 нТл, в течение 13 часов.

Высокоамплитудное северное межпланетное поле одновременно с южным полем содержится в магнитном облаке, взаимодействующем с магнитосферой. Поэтому одно и то же магнитное облако может вызвать разные по интенсивности классические магнитные бури, или не вызвать классическую бурю, в зависимости от траектории прохождения Земли через это облако. Как показывает годовая статистика регистрации магнитных облаков, вероятности прохождения магнитосферы через их области, где присутствует наиболее геоэффективная южная компонента вектора ММП ($B_z \ll -1$ нТл) равны вероятности её прохождения через области, где присутствует северная компонента этого вектора ($B_z \gg 1$ нТл). Была разработана модель магнитного облака, которая позволяет выделять его по данным спутника, и на основе этих данных прогнозировать или развитие магнитной бури, когда модель показывает, что магнитосфера пройдет через область облака, где содержится крупномасштабное ММП с $B_z \ll -1$ нТл, или отсутствие бури, когда модель показывает, что магнитосфера пройдет через область облака, где содержится крупномасштабное ММП с $B_z \gg 1$ нТл. Используя эту модель, можно проверить связь наблюдаемых на обсерваториях полярной шапки значительных магнитных возмущений с магнитными облаками и совпадение времени этих возмущений с прохождением магнитосферы через область магнитного облака, где присутствует $B_z \gg 1$ нТл.

На рис. 3 демонстрируется связь событий, представленных на рис. 1 и на рис. 2 с магнитными облаками.

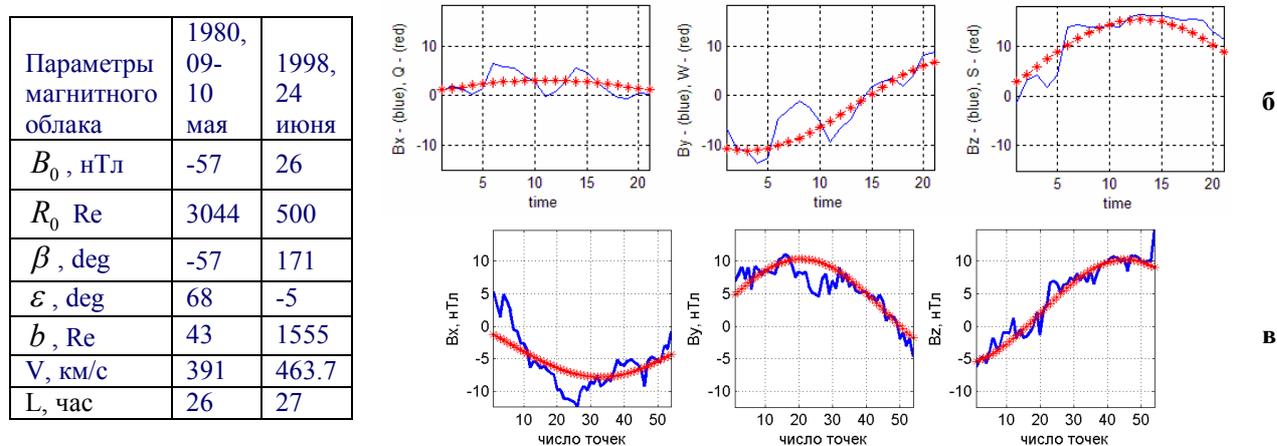


Рис. 3. Магнитные облака, зарегистрированные спутником ACE 9-10 мая 1980 г. и 24 июня 1998 г. На панели **а)** таблица параметров магнитного облака, на панелях **б)** и **в)** - сопоставление компонент магнитного поля облака, зарегистрированных и модельных, сплошная линия – реальные данные, точки – модельное облако.

Выводы

Новый метод представления часовых данных магнитных обсерваторий, основанный на введении уровня отсчета обсерваторских данных от уровня наиболее геомагнитно-спокойных суток уникального периода сверх спокойного состояния солнечной и геомагнитной активности в 2007-2009 гг., позволяет получить информацию о локальной геомагнитной активности в районе расположения обсерватории. Он позволяет характеризовать прошлую и текущую геомагнитную активность более точно, чем при использовании индексов $AE(AU, AL)$, Kp , Dst . В том числе и при исследовании особенностей поведения геомагнитной активности в области полярной шапки.

Эти особенности, выявленные ранее нами и другими исследователями, состоят в том, что в полярной шапке генерируются значительные геомагнитные возмущения в периоды взаимодействия магнитосферы с межпланетной средой, содержащей высокоамплитудную северную вертикальную компоненту вектора ММП [Feldstein and Levitin, 1986; Dremukhina et al., 1998, и ссылки в них]. Мы полагаем, что они связаны с прохождением планеты через солнечные корональные выбросы плазмы. Выделенные нами временные интервалы, когда четыре обсерватории северной полярной шапки фиксировали в течение нескольких часов подряд (от 2-3 часов до >10 часов) присутствие значительных амплитуд горизонтальной компоненты вектора геомагнитного поля, показали что такие события совпадают с прохождением Земли через магнитные облака, когда её траектория проходит через область облака, где B_z компонента вектора ММП $\gg 1$ нТл.

Таким образом, можно говорить, что кроме классических геомагнитных суббурь и бурь, возникающих при прохождении нашей планеты через область выбросов солнечной плазмы, содержащей B_z компоненту вектора ММП $\ll -1$ нТл, генерируются суббури и бури в полярной шапке при ее прохождении через область выбросов солнечной плазмы, содержащей B_z компоненту вектора ММП $\gg 1$ нТл. Последние события наблюдаются в полярной шапке и фиксируются обсерваториями, расположенными в ней, лучшая фиксация при этом происходит при нахождении обсерватории на дневной стороне шапки. При этом в области

авроральных высот в периоды шапочных суббурь и бурь усиления геомагнитной активности (амплитуд индексов AE , AU , AL) практически не происходит, как не происходит и роста амплитуды индекса Kp .

Работа поддержана грантом РФФИ №11-0500306

Список литературы

1. Dremukhina, L.A., A.E. Levitin, and V.O. Papitashvili, Analytical representation of IZMEM model for near-real time prediction of electromagnetic weather, // J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 1998. V 60, No. 15, P.1517-1529
2. Feldstein, Ya.I., A.E. Levitin, Solar wind control of electric fields and currents in the ionosphere. // J. Geomag. Geoelectr., 1986. V. 38, P. 1143.
3. Бархатов Н.А., Калинина Е.А., Левитин А.Е., Громова Л.Л., Дремухина Л.А, Бурцев А.Я. Зависимость интенсивности и продолжительности магнитных бурь от траектории прохождения магнитного облака через земную магнитосферу // Солнечно-земная физика: сб. ст. Иркутск. 2008. Т.1. №12. С. 148.
4. Бархатов Н.А., Калинина Е.А., Левитин А.Е. Проявление конфигураций магнитных облаков солнечного ветра в геомагнитной активности // Космические исследования. 2009. Т.47. № 4. С. 300.