

УДК 550.385.3,550.343

НОВЫЙ ТИП ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

© 2014 г. Х.Д. Канониди, Ю.Я. Ружин

Канониди Харлампий Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, заведующий сектором магнитно-ионосферных взаимодействий, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г.Троицк, Московская обл., 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru.

Kanonidi Kharlampiy Dmitrievich – Candidate of Physical and Mathematical Science, Head of Sector of Magnetic-Ionospheric Interactions, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Moscow Region, 142190, Russia, e-mail: kanonidi@izmiran.ru.

Ружин Юрий Яковлевич – доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии России (по науке и технике), заведующий лабораторией активных экспериментов в космосе, заместитель директора (ионосферное направление), Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г.Троицк, Московская обл., 142190, e-mail: ruzhin@izmiran.ru.

Ruzhin Yuri Yakovlevich – Doctor of Physical and Mathematical Science, Professor, Laureate of the State Prize of Russia (Science and Technology), Head of the Laboratory of Active Experiments in Space, Deputy Director (Ionospheric Direction), Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Moscow Region, 142190, Russia, e-mail: ruzhin@izmiran.ru.

Впервые обнаружен новый тип геомагнитных возмущений по спутниковым и наземным наблюдениям. Отмечено существенное отличие этого нового типа возмущений от принятых в настоящее время. Делается попытка оценить возможный источник происхождения этого нового типа возмущений. Дан краткий обзор существующих разновидностей геомагнитных возмущений.

Ключевые слова: геомагнитные возмущения, бури, спутники, ударная волна, внезапное начало.

First found new types geomagnetic perturbations on satellite and ground-based observations. A substantial difference between this new types of perturbation of the currently accepted views on this issue. Attempt to assess the possible origin of this new type of perturbation. It is presented a brief overview of the existing species of the geomagnetic disturbances.

Keywords: geomagnetic disturbance, storms, satellites, shock wave, sudden onset.

Для краткого обзора существующих разновидностей геомагнитных возмущений мы воспользовались отличным обзором А.Н. Зайцева [1].

Типы вариаций магнитного поля Земли

Данные магнитных обсерваторий накапливаются непрерывно, и простой просмотр магнитограмм позволяет сразу выявить факт наличия геомагнитных возмущений как отклонения от некоторого своего «спокойного», стационарного состояния. За более чем 150-летнюю историю инструментальных наблюдений вариаций магнитного поля накоплена огромная база данных и результатов их анализа. Установлены характерные свойства геомагнитных вариаций, в первую очередь их интенсивность, продолжительность протекания и пространственное распределение. Геомагнитные возмущения на поверхности Земли есть сумма эффектов от различных источников, представляющих собой сложные системы токов, текущих в ионосфере и в магнитосфере Земли. По мере изучения структуры и динамики токовых систем, ответственных за геомагнитные возмущения, удалось установить их определяющую роль во многих процессах внутри магнитосферы Земли. Для детального описания этих процессов необходимо все более точное знание свойств токовых систем с учетом их большой изменчивости. Общие характеристики наблюдаемых вариаций и их составляющих достаточно определенно установлены. На сегодня можно принять, что вариации магнитного поля на поверхности Земли состоят из следующих частей:

$$S + L + DP + DR + DCF + DT,$$

где S – регулярная часть поля, возникающая из-за волнового излучения Солнца; ее статистическая аналогия – Sq (Solar quiet)-вариация: токовая система, возникающая на освещенной стороне Земли на высоте слоя E ; L – регулярная часть поля, возникающая из-за лунных приливов в верхней атмосфере, статистически выделяется методом наложения эпох по возможно большему периоду наблюдений, также приурочена к слою E , ее величина много меньше Sq -вариации; DP – нерегулярная часть поля, возникающая из-за корпускулярного излучения Солнца, ее статистическая аналогия – Sd (Solar disturbed)-вариация: основные токи развиваются в виде электроструй в зоне полярных сияний на высотах слоя E и токов растекания по всей поверхности Земли (как правило, амплитуда Sd -вариации много больше Sq -вариации); DR – поле кольцевого тока, существенно усиливающегося в период магнитных бурь планетарного масштаба, его аналогия – главная фаза; Dst (Disturbed storm-time)-вариация: токи развиваются во внешней части радиационных поясов Земли, а их эффект наблюдается на всей поверхности Земли; в большинстве случаев амплитуда Dst -вариации сравнима с амплитудой Sd -вариации; DCF – нерегулярная часть поля, возникающая из-за токов на поверхности магнитосферы

при обтекании ее солнечным ветром, ее статистическая аналогия – начальная фаза Dst -вариации; хорошо выделяется по записям на магнитограммах обсерваторий в средних и низких широтах; DT – поле токов в хвосте магнитосферы: токовые системы формируются в обеих долях хвоста магнитосферы, разделенного нейтральным слоем, и, по-видимому, замыкаются на высокоширотную ионосферу. До сих пор статистической аналогии не имеют, и их проявление на земле удастся заметить при определенных условиях в периоды сильных геомагнитных возмущений (наименее изученная часть поля вариаций).

В данной схеме остались неучтенными вариации магнитного поля, обязанные своим происхождением источникам токов совсем в удаленной магнитосфере, а также токам вдоль силовых линий магнитного поля. Так как амплитуда этих токов на поверхности Земли мала, их непосредственное выделение по магнитограммам на Земле остается нерешенной методической проблемой. Поэтому вопрос об их вкладе в наблюдаемые вариации представляет собой актуальную задачу исследований для специалистов по физике магнитосферы и сегодня. Кроме того, есть указания на существование регулярных вариаций магнитного поля вследствие геометрии открытой магнитосферы, так называемые эффекты мирового времени. Так как ось магнитного диполя не совпадает с осью вращения Земли, это дает свой эффект в вариациях МПЗ. Вклад каждой из перечисленных частей поля существенно зависит от времени суток, сезона, географической и геомагнитной широты точки наблюдения, а также от состояния околоземного космического пространства. Но в целом можно сказать, что части поля S , DP и DR являются основными ввиду их большой амплитуды и возможности четкого выделения.

Из-за сильной изменчивости и нерегулярности переменного магнитного поля во многих морфологических работах, посвященных изучению этих частей поля, оперируют их статистическими эквивалентами Sq , Sd и Dst . Статистический анализ дает большое усреднение, маскируя динамику возмущений, что связано с фильтрацией и сглаживанием данных при использовании среднечасовых значений. Поэтому вопросы методики таких исследований продолжают привлекать внимание магнитологов. По этим причинам во многих случаях нагляднее и продуктивнее изучать конкретные магнитограммы по методу сопоставления графиков магнитограмм для периодов магнитных бурь или отдельно подобранных возмущений. Каждый метод не является универсальным, и только лишь их совместное использование приводит к положительным результатам. Неограниченное доверие к статистике и излишняя математизация ведут к заметной потере физической ясности, а пренебрежение статистикой – к потере четких связей между необозримым числом изменений в вариациях магнитного поля Земли.

Предлагаемый нами к рассмотрению новый тип геомагнитных возмущений не вписывается ни в один из типов бурь.

Из обзора Г.Н. Застенкера и Л.М. Зеленого [2] Солнце посылает нам поток энергии, состоящий из нескольких компонент:

- электромагнитного излучения (главным образом, видимого света с небольшой добавкой инфракрасного и радиоизлучения), несущего основную часть энергии (около $1,2 \text{ кВт/м}^2$ на орбите Земли) и удивительно мало изменяющегося во времени (не более чем на 1–2 %), так что величина этой энергии даже получила название солнечной постоянной; с точки зрения астрофизики Солнце является постоянной звездой в отличие от множества переменных звезд;

- спорадического ультрафиолетового и рентгеновского излучений, а также энергичной части солнечного радиоизлучения, изменяющихся в широком диапазоне – в сотни и тысячи раз и появляющихся только на короткое время при возмущениях (например, в солнечных вспышках);

- потока заряженных частиц с энергиями от сотен кэВ до сотен МэВ (солнечные космические лучи), также возникающего только эпизодически во время очень сильных солнечных вспышек;

- существующего постоянно, но сильно изменяющегося (в десятки раз) потока плазмы (состоящего из ионов и электронов в равной концентрации, т.е. квазинейтрального), называемого солнечным ветром.

При рассмотрении этих ключевых компонент от Солнца образование нового типа геомагнитных возмущений больше всего зависит от потока плазмы.

Аномальный тип вариации

За последние 15 лет обнаружены четыре случая новых геомагнитных возмущений: 13 мая 1989 г., 13 июня 1990 г., 26 января 1992 г. и 29 декабря 2001 г.

В работе рассматриваются два случая более характерных типов нового возмущения: 13 июня 1990 г. и 29 декабря 2001 г.

Оба эти события отличаются тем, что после прихода мощной ударной волны, вызвавшей внезапное начало, происходит смещение фона наблюдений в одном направлении, а затем через несколько часов этот смещенный уровень возвращается к прежнему. При этом в период протекания этого явления никаких аномальных амплитудных или временных изменений не наблюдается.

Событие 13 июня 1990 года

Это событие смещенного уровня вариаций магнитного поля Земли заняло 3,3 часа по наземным наблюдениям и по спутнику GOES-7. На рис. 1 приведены данные по спутнику и наземные данные по нескольким обсерваториям.

Амплитуда смещения уровня вариации по спутниковым и наземным данным порядка 50 нТл. По обсер-

ваториям Хартланд, Лервик, Минск зарегистрирована величина внезапного начала 50–60 нТл. Особо отметим, что величина смещения по спутниковым и наземным данным одинаковая (~ 50 нТл), но отличается по знаку.

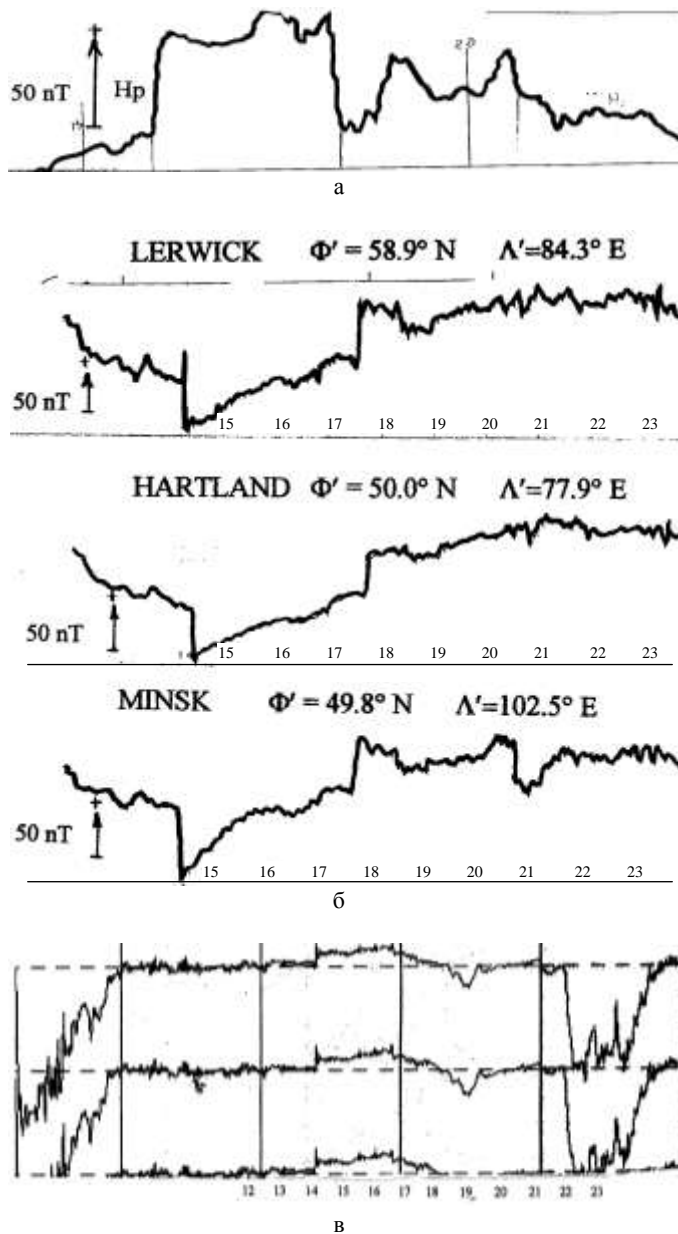


Рис. 1. Событие 13.06.1990 г. ($257,5^\circ\text{E}$): а – измерение вариаций магнитного поля на спутнике GOES-7; б – наземные наблюдения вариаций магнитного поля Земли по данным обсерваторий; в – измерение на EISCAT

Так как измерения на спутниках проходят с интервалом 5 мин, то зарегистрировать внезапное начало на них практически невозможно. Величина внезапного начала 50 нТл для субавторальных и среднеширотных наблюдений находится в некотором противоречии с полученными наблюдениями обс. Борок $L=2,8$. По

данным обсерватории Борка нам удалось зафиксировать величину внезапного начала 320 нТл. По имеющимся у нас данным это очень большая амплитуда для широт Борка. Скорость первого импульса внезапного начала равна 32 нТл/сек.

Необходимо отметить, что 13–14 июня 1990 г. наблюдалась большая магнитная буря. В промежутке между двумя активными периодами уровень большой бури на несколько часов ослаб, как видно из нижней части рис. 1, и именно на этом «спокойном» фоне проявилась аномальная вариация (возмущение «проскользнуло» в это окно).

Событие 29 декабря 2001 года

Длительность этого события занимала более длинный временной интервал – 6,3 ч. Это видно, как по наземным, так и по спутниковым измерениям GOES-8 и GOES-10 на рис. 2.

По среднеширотным обсерваториям величина смещения в северном полушарии 29 декабря 2001 г. была порядка 50 нТл. Важно отметить, что смещение противоположно по знаку для наземных и спутниковых измерений.

В южном полушарии смещения менялись от 40 до 70 нТл. Разница смещений в южном полушарии на разных долготах вызвана, по-видимому, тем, что большинство обсерваторий находятся вблизи морей и океанов, поэтому индукционный коэффициент мог повлиять на амплитуду вариаций. Поэтому к наземным данным 13 июня 1990 г. и 29 декабря 2001 г. будет полезно привлечь измерения теллурических токов.

Для 29 декабря 2001 г. величина смещения для обсерваторий северного полушария была порядка 30 нТл, т.е. меньше, чем для события 13 июня 1990 г. Направление величины смещения по наземным данным для 29 декабря 2001 г., так же как и для 13 июня 1990 г., находилось в противофазе со спутниковыми измерениями. Величина смещения для спутника GOES-8 была порядка 10 нТл, а для спутника GOES-10 – 20 нТл. Разница величин смещения для спутников GOES-8 и GOES-10 могла быть вызвана их расположением на разных географических долготах. Разница величин смещения для спутников GOES-8, GOES-10 (10 – 20 нТл) и GOES-7 (50 нТл) вызвана тем, что измерения проводились при разной геофизической активности. Так, для спутников GOES-8, GOES-10 была спокойная геофизическая обстановка, а для спутника GOES-7 наблюдалась большая магнитная буря. На спутнике GOES-10 в интервале действия уров-

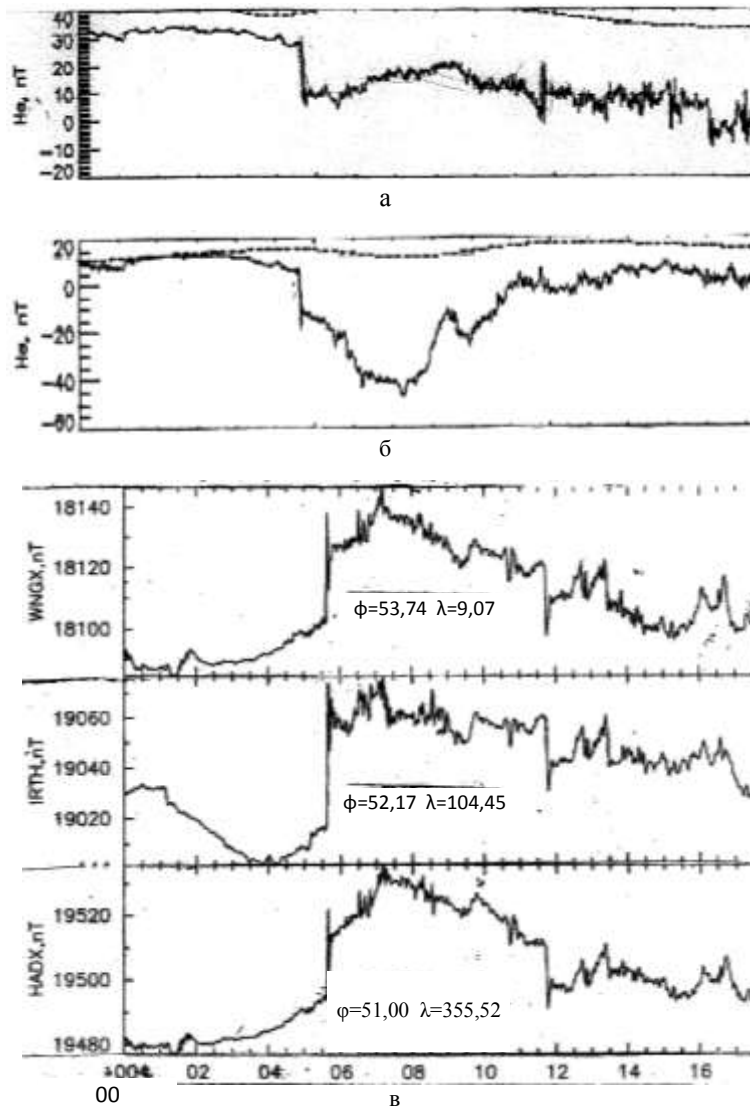


Рис. 2. Событие 29.12.2001 г.: а – измерение магнитного поля на спутнике GOES-8 (74W); б – измерение магнитного поля на спутнике GOES-10 (135W); в – наземные наблюдения магнитного поля (горизонтальная составляющая) по данным среднеширотных обсерваторий, разнесённых по долготе

ня смещения наблюдались амплитудные изменения вариаций магнитного поля не больше 40 нТл. Но, как известно, для обсерваторий в средних широтах амплитуда вариаций магнитного поля Земли даже во время малой магнитной бури не меньше 100 нТл. Поэтому новый тип геомагнитных вариаций мы обозначили как микробуря.

Вопрос о том, чем было вызвано это необычное явление – микробуря – пока остается открытым. Вероятнее всего, это было очень большое однородное плазменное образование (магнитное облако, локальное межзвездное облако).

В дальнейшем необходимо привлечь как солнечные данные в оптическом диапазоне, так и радионаблюдения, обеспечить возможность улучшить технические средства наземных наблюдений [3–8].

В заключение выражаю благодарность старшему технику сектора МИВ ИЗМИРАН Т.А. Гусевой за профессиональную обработку полученных данных.

Литература

1. *Зайцев А.Н.* Типы вариаций магнитного поля Земли. Космическая среда вокруг нас. Троицк, 2006. С. 161.

2. *Застенкер Г.Н., Зеленый Л.М.* Солнечные магнитные облака атакуют Землю / Федеральное космическое агентство (Роскосмос). URL: <http://www.federal space /182/> (дата обращения: 11.07.2013).

3. *Яновский Б.М.* Земной магнетизм. Л., 1963. С. 1–402.
4. Солнечная и солнечно-земная физика. М., 1980. С. 1–24.

5. *Исаев С.И., Пудовкин М.И.* Полярные сияния и процессы в магнитосфере Земли. Л., 1972. С. 1–430.

6. *Фельдштейн Я.И., Зайцев А.Н.* Возмущенные солнечно-суточные вариации в высоких широтах в период ММГ // Геомагнетизм и аэрономия. 1965. Т. 5, № 3. С. 481.

7. *Zaitzev A.N.* Polarcap geomagnetic studies // Antarctic S. of USA. 1978. Vol. 13, № 44. P. 212 – 214.

8. *Зайцев А.Н.* Школа и спутники // Информатика и образование. 2002. № 11. С. 74 – 76.

Поступила в редакцию

8 июля 2014 г.