

**МАГНИТНЫЕ БУРИ ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ "МОСКВА" – ОТ
МИНИМУМА ДО НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ СПАДА 24 СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА – В
СОПОСТАВЛЕНИИ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ
ПО Б.Л.ДЗЕРДЗЕЕВСКОМУ**

Вальчук Т.Е., *e-mail: valchuk@izmiran.ru*

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова
РАН, 108840, Калужское шоссе 4, Москва, Троицк, Россия

**MAGNETIC STORMS (MOSCOW OBSERVATORY DATA) – FROM THE MINIMUM UP
TO THE DESCENDING PHASE OF 24-th SOLAR CYCLE – IN CONNECTION WITH
ATMOSPHERIC CIRCULATION OF THE NORTHERN HEMISPHERE ACCORDING
TO B. L. DZERDZEEVSKII CLASSIFICATION**

Tatiana E. Valchuk, valchuk@izmiran.ru

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian
Academy of Sciences, 108840, Moscow, Troitsk, Russia

Key words: global atmospheric circulation, magnetic storm, elementary circulation mechanism, solar cycle, circulation epoch.

Abstract

On the geomagnetic data basis of MOSCOW observatory have been made efforts in searching of communications between magnetic storms and atmospheric circulation. The catalog of magnetic storms for 2010-2015 is recreated and studied in comparison to the calendar of elementary circulating mechanisms. Taking into account ranks and types of magnetic storms the following tendencies are revealed. Magnetic storms stimulate manifestations of more turbulent types of elementary circulating mechanisms. In some cases prolongation or strengthening of turbulent type is observed. The periods of moderate, strong and very strong magnetic storms in the current 24-th cycle of solar activity are considered in detail.

Календарь последовательной смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) широко известен специалистам, поскольку является одним из важнейших итогов коллективного многолетнего анализа циркуляции атмосферы в ИГ РАН с 19 по 21 век [6, 7]. В основе предложенной Б.Л. Дзердзеевским [2, 3] методики типизации ЭЦМ – метеорологические данные, максимально востребованные подробные сведения о вариациях атмосферных параметров. Смена ЭЦМ в атмосфере подобна непрерывно осуществляющемуся активному эксперименту передачи энергии в атмосферу Земли, происходящему под воздействием множества природных агентов [5], поскольку постоянно варьируется как воздействие Солнца на Землю, так и ситуация в подвижной газовой оболочке Земли – атмосфере.

Основной источник поступления – солнечная энергия во всем диапазоне электромагнитных волн, дополненная воздействием непрерывно обтекающего Землю потока солнечного ветра (СВ), воздействующего на магнитосферу [8], что проявляется в геомагнитной активности (ГА) особенно мощно в периоды глобальных электромагнитных возмущений верхней атмосферы – магнитных бурь (МБ) [8], их регистрируют в сети магнитных обсерваторий на Земле с помощью КА – в пространстве магнитосферы.

До сих пор точный учет энергетического вклада геоэффективных процессов в циркуляцию атмосферы не определен, а разброс энергетических параметров мощных атмосферных процессов очень широк – для тайфунов это $\sim 10^{22}$ эрг, для циклонов $\sim 10^{26}$ эрг, поэтому анализ МБ в их отличии от геомагнитно-спокойных периодов циркуляции атмосферы сохраняет значимость. Б.Л. Дзердзеевский в ([3], стр.156) подчеркивал необходимость проведения исследований, связывающих тропосферные процессы с вариациями переменного магнитного поля Земли.

Отметим особо важную характеристику сопряженности циркуляции атмосферы внетропических широт Северного и Южного полушарий [3], выявленную Б.Л. Дзердзеевским еще в 1967 г. – в пользу этого свидетельствует представление о том, что сама магнитосфера и токовые системы в ионосфере Земли позиционированы квазисимметрично, что может способствовать сопряженности ЭЦМ в Северном и Южном полушариях Земли, вращающейся внутри облегающей ее магнитосферы. Области продольных токов в Северном и Южном полушариях, вариации границ авроральных высыпаний в овалах полярных сияний, авроральные электроджеты в северном и южном магнитосферном отображении обладают определенной симметрией. Т.е. электромагнитные особенности полярных регионов в достаточной степени сходны друг с другом, но из-за наклона оси вращения Земли относительно плоскости эклиптики инсоляция полярных регионов различна летом и зимой.

В работе востребованы данные обсерватории МОСКВА за 6 лет текущего 24 солнечного цикла: 2010-2015 гг. Отметим, что в геомагнетизме принято считать завершением 11-летнего цикла его минимум. Эпоха 23-го цикла солнечной активности (СА) завершилась в 2009 г. – началась эпоха 24 цикла СА. Перечислим особенности проявлений СА по числам Вольфа W в 24 цикле СА: 2010 г. – слабое начало ветви роста 24 цикла, 2011 г. – ветвь роста W , 2012 г. – 1-й максимум W , 2013 г. – 2014 г. – понижение в ходе W , т.е. 2013 и 2014 гг. – локальный минимум (в фазе максимума) чисел Вольфа в 24 цикле СА, 2015 г. – проявляется 2-й максимум W . В 2016 г. 24 цикл переходит в фазу спада с последующим минимумом 24 цикла (прогноз минимума СА (см. сайт ИЗМИРАН в разделе "Солнечная активность" [4] по числам Вольфа – апрель 2020 г.). Ветвь спада W формируется с 2016 г., нетипичный (низкий по W) 24 цикл продлится на годы, в прошлом на ветвях спада происходили мощные события геомагнитной возмущенности (яркий пример - осень 2003 г.).

МБ характеризуются временем протекания и рангом в зависимости от величины вариации параметров вектора переменного магнитного поля Земли (малые – ММБ, умеренные – УМБ, большие и очень большие – БМБ, ОББ) согласно наблюдениям и каталогу в обсерватории МОСКВА, а также дополнительно типизацией на 4 типа, в зависимости от источников на Солнце (авторский каталог [1] "Магнитосферная возмущенность 2010-2015 гг. по данным обсерватории МОСКВА"). **МБ типа (1)** – следствие воздействия высокоскоростных потоков (ВСП СВ), которые порождаются на Солнце в специфических униполярных регионах открытых силовых линий крупномасштабного МП Солнца; **МБ типа (2)** – результат вспышек, самых мощных эруптивных событий на Солнце; **МБ типа (3)** – следствие спорадических процессов – выбросов волокон (протуберанцев) либо корональных выбросов массы (КВМ), возникающих при перестройке корональных структур, **МБ типа (4)** – композитные, когда в одной МБ объединены спорадические признаки (подобные КВМ или волокну), и прохождение ВСП СВ из КД. Итак, при осуществлении МБ Земля получает от Солнца дополнительную энергию из-за проявлений СА, как описано выше, а также за счет высокочастотных излучений, включая солнечные космические лучи.

Поступление энергии в самую динамичную среду – воздушную оболочку Земли – основание для поиска связей МБ и ЭЦМ во времени. Магнитные полюсы Земли обосновано считаются кухней погоды, и магнитосфера Земли структурой силовых линий "привязана" к

магнитным полюсам Земли. Далее производим сопоставление МБ по данным обсерватории .МОСКВА с ЭЦМ в типизации по Б.Л. Дзердзеевскому за 2010-2015 гг. [7] для получения результатов в виде оценок вариаций ЭЦМ при прохождении 213 МБ 24 текущего солнечного цикла.

Таблица 1. Количество и ранг МБ 24 цикла за годы 2010-2015.

ранг МБ	годы						ИТОГО
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
ММБ	19	17	17	24	21	36	213
УМБ	5	8	12	8	8	20	
БМБ	1	3	7	2		3	
ОББ						2	
Всего в году	25	28	36	34	29	61	

В сопоставлении МБ с ЭЦМ проявляется преимущественный переход к более турбулентным типам ЭЦМ, что стимулируется в подавляющем числе всех рассмотренных случаев. Наиболее часто при усилении ГА реализуются ЭЦМ 12а, 13л, 13з, 9а, 12бз. Эти ЭЦМ отчетливо выявляются при прохождении МБ различных рангов и типов. Статистические расчеты конкретизируют выявленные особенности в 24 цикле СА и позволят осуществить сравнение со средними величинами данных за весь период исследования ЭЦМ [7]. На примерах самых мощных МБ – 2-х ОББ 2015 г.: 17-19 марта (ЭЦМ 12а с 12 по 23.03) и 22-24 июня (ЭЦМ 13л с 20 по 25.06) – видна реализация самых турбулентных типов ЭЦМ, причем они пролонгированы и продолжены в каскадах следующих за этими ОББ магнитных бурях.

При отсутствии МБ в 8-ми месяцах 24 цикла частота смен ЭЦМ в среднем равна 14,75. В 20 месяцах только с ММБ – частота смен ЭЦМ в среднем равна 14,1. Теперь определим среднее значение частоты смен ЭЦМ в месяцах с МБ более высоких рангов – УМБ, БМБ и ОББ. Таких месяцев 44, среднее значение частоты смены ЭЦМ равно 12, 8. Уменьшение среднего значения частоты смены ЭЦМ говорит о пролонгировании длительности конкретных ЭЦМ в тех месяцах, когда есть интенсивные возмущения, соответственно переходы ЭЦМ более часты при отсутствии сильных геомагнитных возмущений. Полагаем, что таким образом выявлено реальное проявление магнитосферных возмущений на пролонгацию ЭЦМ.

Отметим, что ММБ не менее интересны для рассмотрения особенностей вариаций ЭЦМ, поскольку явная нелинейность связей геомагнитных и атмосферных проявлений требует более тщательного подхода к получению оценочных величин. Однако в начале об интенсивных возмущениях: в **2010** г. отмечено 6 мощных МБ: 1) УМБ типа (2) 4-5 апреля, обусловленная вспышкой на Солнце, вызвала пролонгирование ЭЦМ 4а до 7 апреля в УМБ типа (1) 6-8 апреля, что существенно превышает суммарную среднюю месячную продолжительность ЭЦМ 4а в апреле. В ряде случаев наблюдается пролонгация ЭЦМ, как в этом примере. 11-12 апреля возмущения продолжены ММБ при ЭЦМ 13з до 13 апреля, т.е. турбулентность ЭЦМ усиливается. В БМБ 2-4 мая при ЭЦМ 9а – переход к ЭЦМ 12а сопровождается сильной пролонгацией по сравнению со средней продолжительностью этого турбулентного типа. УМБ 29-31 мая и 3-4 августа - при 13л турбулентном, и в ММБ 2010 г. также представлены переходы в самые турбулентные типы: 12а в 13з, 12бз в 13а, 12а в 12вз. В ноябре-декабре 2010 г. выражены переходы 12а в 13з, 5а а 13з.

2011 г. - фаза роста W в 24 цикле СА, 11 мощных МБ и значимый разброс типов ЭЦМ. Май характерен значимым ростом ЭЦМ 12а (18 дней длительности), в УМБ 4-5 июня ЭЦМ 10б меняется на 12бл. БМБ 5-6 августа проявляется на интервале ЭЦМ 9а в сутки 4-7 августа. БМБ типа (2) – следствие вспышечного события С3.7 от 2 июня в 07.22 UT. Уширенный интервал ЭЦМ 9а охватывает двухдневный интервал БМБ в силу того, что высокочастотные предвестники вспышки инициировали ионосферные возмущения, способствовавшие ЭЦМ 9а, который был пролонгирован процессами БМБ. Этот случай весьма показателен, как и продолжение мощных возмущений типа (2): УМБ 8-9 и БМБ 26-28 сентября существенно пролонгированы по ЭЦМ 13л и 13з. Последняя БМБ 24-25 октября 2011 г. – ЭЦМ 12бз и 12вз. Характерная особенность спокойных ноября и декабря 2011г., когда геомагнитная активность мала (всего 1 ММБ в ноябре) – это частая смена ЭЦМ – 16 раз в ноябре и 20 раз в декабре. Нет МБ - не проявляется стагнация в типах ЭЦМ.

В году **2012 г.** – 19 УМБ и БМБ, выразительное усиление самых турбулентных типов ЭЦМ, **2013 г.** – 10 УМБ и БМБ, в примере БМБ от 17-18 марта ЭЦМ 12бз переходит в 12а и пролонгируется далее в ММБ – 12вз в 12а.

В **2014 г.** – 8 УМБ, частая смена ЭЦМ в году, длится промежуточный минимум W .

2015 г. – второй максимум W в 24 цикле – 20 УМБ, 3 БМБ, 2 ОББ, турбулентные ЭЦМ господствуют, особенно 12а, 13з, 13л в июне, в августе 12а, далее 13з и 12а, в завершение 12бз и 13з. Проверка тенденции нарастания турбулентных типов при прохождении МБ усматривается по всем годам протекания 24 солнечного цикла.

Выводы:

- 1) при отсутствии магнитных бурь ЭЦМ сменяют друг друга чаще;
- 2) в период действия магнитных бурь происходит либо продление действия наиболее турбулентных ЭЦМ, либо переход менее турбулентных в более турбулентные, с большим количеством блокирующих процессов и выходом южных циклонов;
- 3) отмечается тенденция нарастания турбулентных типов при прохождении магнитных бурь.

Литература

1. Вальчук Т.Е., Препринт ИЗМИРАН "Магнитосферная возмущенность 2010-2015 гг. по данным обс. "МОСКВА", сайт ИЗМИРАН, [<http://www.izmiran.ru>], 2016 г.
2. Дзердзеевский Б.Л.. Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы над Северным и Южным полушариями. // *Информационный бюллетень Советской Антарктической экспедиции, 1967, № 65, с.58-68.*
3. Дзердзеевский Б.Л., Общая циркуляция атмосферы и климат. Избранные труды. М.: Наука, 1975 г., 285 с.
4. Ишков В.Н. ИЗМИРАН, раздел "Солечная активность" [<http://www.izmiran.ru>].
5. Ковалевский И.В., Энергетические аспекты солнечно-земных связей. М.: Наука, 1976, 50 с.
6. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. // Н.К.Кононова, отв.редактор А.Б. Шмакин; РАН, Институт Географии. –М.: Воентехиниздат, 2009, 372 с.

7. Кононова Н.К. Изменения циркуляции атмосферы Северного полушария в XX-XXI столетиях и их последствиях для климата. *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2015 г., №1, с. 127-156.

8. Пудовкин М.И., Козелов В.П., Лазутин Л.Л. и др., *Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений*. Л.: Наука, 1977 г., 312 с.