

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ ОБЛАКОВ НА УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Ц.Ю. Гололобов, Н.А. Винокуров, А.С. Петухова

Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
gpeter@ikfia.ysn.ru

EXAMINING INFLUENCE OF MAGNETIC CLOUDS ON ANGULAR DISTRIBUTION OF COSMIC RAYS

P. Yu. Gololobov, N.A. Vinokurov, A.S. Petukhova

Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia
gpeter@ikfia.ysn.ru

Аннотация. На основе метода глобальной съемки по данным мировой сети нейтронных мониторов определены вариации углового распределения космических лучей для 204 событий прохождения Земли области магнитных облаков за 1995–2007 гг. Показано, что для отдельно взятых событий анизотропия и плотность космических лучей во время прохождения испытывают вариации, согласующиеся с теоретическими представлениями о магнитных облаках.

Ключевые слова: космические лучи, магнитное облако, метод глобальной съемки.

Abstract. The global survey method with the data from world-wide network of neutron monitors was used to determine variations of angular distribution of cosmic rays for 204 events of Earth's passing through magnetic clouds in 1995–2007. It is shown that anisotropy and density of cosmic rays of separate events experience variations that are consistent with theoretical concepts on magnetic clouds.

Keywords: cosmic rays, magnetic cloud, method of global survey.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее интересных объектов космической погоды являются магнитные облака (МО). МО возникают во время корональных выбросов массы Солнца (КВМ) вследствие выноса вместе с ней магнитного поля и представляют собой области солнечного ветра с относительно высокой напряженностью межпланетного магнитного поля (ММП) и характеризуются особой структурой поля. Эти, а также и другие признаки (см. напр. [Burlaga et al., 1981; Burlaga et al., 1990; Bothmer, Schwenn, 1998]) позволяют идентифицировать моменты пересечения Земли области МО (см. каталоги МО в работах [Lepping et al., 1990; Cane, Richardson, 2003; Zhang et al., 2004; Richardson, Cane, 2010] и т. д.). Сегодня известно, что МО сильно влияют на геомагнитную активность и часто являются источниками мощных геомагнитных бурь [Zhang et al., 2004; Echer et al., 2005; Kilpua et al., 2005].

Космические лучи (КЛ), являясь заряженными частицами, также подвержены влиянию МО. Теоретические расчеты ожидаемого поведения интенсивности КЛ в МО проведенные в работах [Petukhov et al., 2017; Petukhov et al., 2019] показали, что во время перехода Землей центра МО — области с сильным магнитным полем, должно наблюдаться понижение интенсивности КЛ. При этом, поведения плотности и анизотропии КЛ может быть несколько разной в зависимости от структуры магнитного поля в МО, прицельного расстояния до центра МО, ориентации МО и т. д.

На сегодняшний день однозначного ответа на вопрос о влиянии МО на наблюдаемую интенсивность КЛ нет. Так, согласно исследованиям [Belov et al., 2015], в среднем за 1996–2010 гг., те КВМ, которые сопровождалась МО приводили к форбуш-понижениям (ФП) с амплитудами почти в ~1.75 раза выше, чем те, которые без МО. Действительно,

приход к Земле КВМ с МО должен приводить к возникновению двухступенчатого временного профиля ФП, первая ступень, которой обусловлена ударной волной, а вторая — из-за МО и, как следствие, наблюдается большая амплитуда ФП. (к прим. см. рис. 1). Между тем, указанная картина не всегда выполняется, а влияние непосредственно самого МО на плотность КЛ относительно слабое, в почти половине событий понижение составляет менее 0.5 % [Belov et al., 2015]. Более того, часть событий характеризуются повышением плотности КЛ внутри МО.

Целью данной работы является определение поведения наблюдаемого углового распределения КЛ в периоды прохождения Землей области МО.

МЕТОДИКА

Для определения вариаций углового распределения КЛ предлагается использование метода глобальной съемки, который был разработан группой якутских ученых в ИКФИА в 60-х гг. прошлого столетия [Altukhov et al., 1969; Крымский и др., 1981]. Метод позволяет мгновенно определять угловое распределение проходящего к Земле потока галактических КЛ на основе измерений вторичных КЛ наземными детекторами. Основной экспериментальной базой выступает мировая сеть нейтронных мониторов, которая способна охватывать значительную часть небесной сферы, достаточной для успешного проведения «съемки». Применения метода в исследовании различных динамических процессов в гелиосфере представлены в работах [Григорьев, Стародубцев, 2015; Григорьев и др., 2017; Гололобов и др., 2017; Starodubtsev et al., 2019].

Моменты нахождения Земли в области МО были определены на основе каталога [Lepping et al., 1990], представленной по ссылке [https://wind.gsfc.nasa.gov/mfi/mag_cloud_pub1.html], где приведены границы

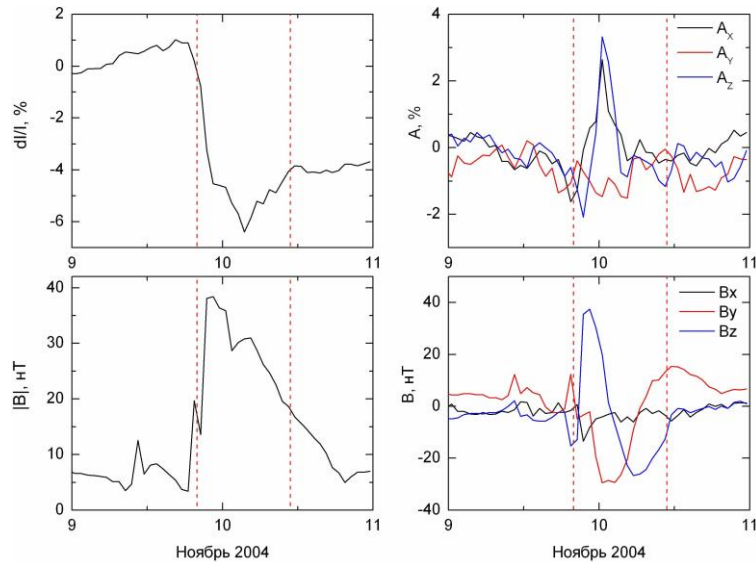


Рис. 1. Событие МО в ноябре 2004 г. Вариации интенсивности КЛ dI/I , модуль вектора напряженности ММП $|B|$, компоненты суточной анизотропии КЛ A_x , A_y и A_z , компоненты вектора напряженности ММП B_x , B_y , B_z . Границы МО (вертикальные красные пунктирные линии) определены согласно [https://wind.gsfc.nasa.gov/mfi/mag_cloud_pub1.html]

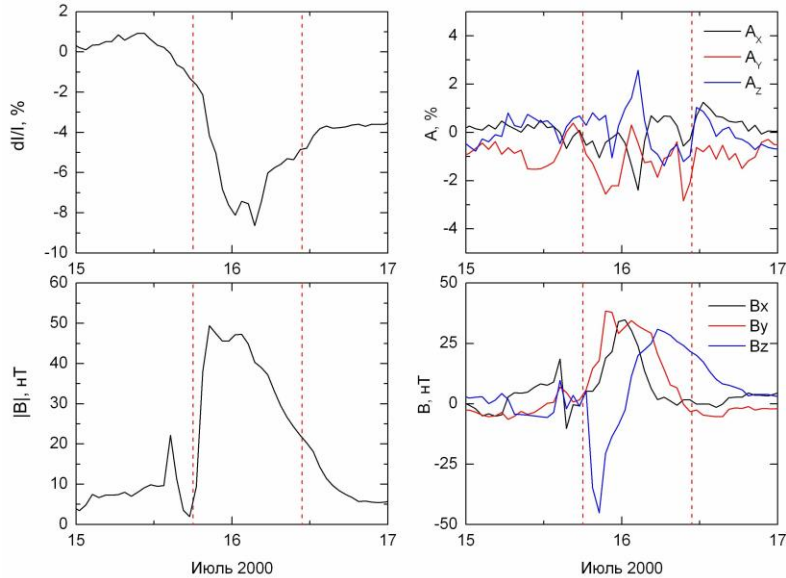


Рис. 2. Событие МО в июле 2000 г. Обозначения аналогичны рис. 1

100 событий МО произошедших за 1995—2007 гг. Кроме того, дополнительно привлекался каталог, представленный в работе [Zhang et al., 2004] содержащий сведения о 104 событиях МО и охватывающий период с 1998—2001 гг.

Для определения вариаций параметров солнечного ветра и напряженности ММП использовался каталог OMNIWeb Plus [<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>].

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные вышеуказанным методом результаты расчета углового распределения КЛ представлены на рис. 1–3. Событие в ноябре 2004 г. (рис. 1) сопровождалось повышением напряженности ММП до 40 нТл и ФП с амплитудой ~6 %. При этом во время прохождения МО, наблюдалось повышение каждой из

компонент A_x и A_y анизотропии КЛ до значений ~3 %. Аналогичное поведение наблюдалось и во время события 15–16 июля 2000 г. (рис. 2). В момент времени, когда $|B|$ достиг значения ~50 нТл, также наблюдалось большое ФП с амплитудой порядка ~8 %. Вектор суточной анизотропии КЛ также испытывает резкие скачки внутри МО. В отличие от вышеуказанных событий во время МО 20–21 марта 2003 г. (рис. 3) наблюдалось ФП с амплитудой лишь ~2 % и напряженностью ММП ~12 нТл. При этом, в передней части МО наблюдалось повышение A_z -компоненты анизотропии КЛ.

На основе отобранных событий можно предварительно заключить, что наблюдаемое поведение плотности и анизотропии КЛ в целом согласуется с теоретическими представлениями, изложенными в [Petukhov et al. 2019]. Для однозначного определения роли МО в модуляции КЛ необходимо проведение дальнейшего детального анализа.

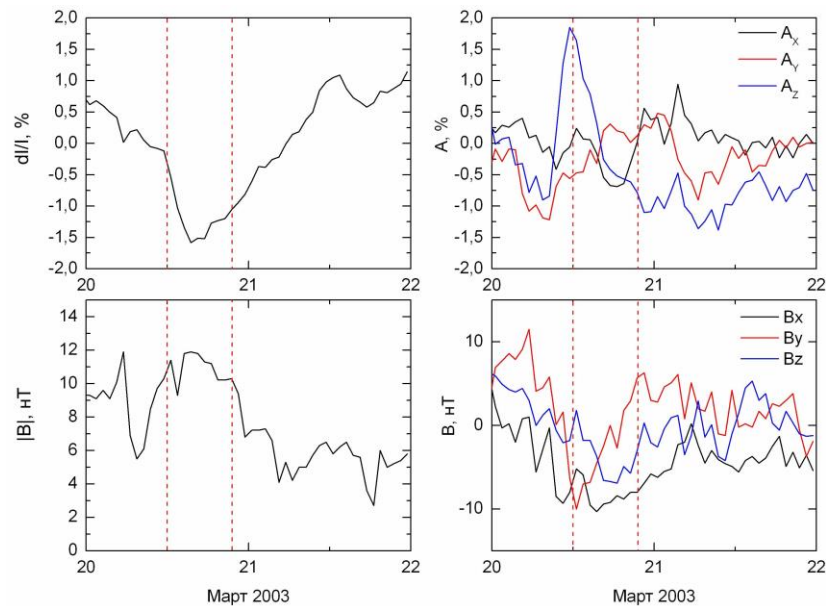


Рис. 3. Событие МО в марте 2003 г. Обозначения аналогичны рис. 1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен расчет углового распределения КЛ в периоды прохождения Землей областей МО, которые определены согласно каталогам [Lepping et al., 1990; Zhang et al., 2004]. Всего рассмотрено 204 событий МО за 1995–2007 гг. Результаты расчетов представлены в сети интернет по ссылке [https://github.com/GYuPetr/MC_collect]. В дальнейшем планируется провести детальный анализ полученных экспериментальных данных для исследования влияния МО на КЛ.

Работы была выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-32-00064 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гололобов П.Ю., Кривошапкин П.А., Крымский Г.Ф. и др. Распределение тензорной анизотропии космических лучей в окрестности нейтрального токового слоя // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 2. С. 18–21.

Григорьев В.Г., Стародубцев С.А. Метод глобальной съемки в режиме реального времени и прогноз космической погоды // Изв. РАН, Сер. физич. 2015. Т. 79. С.703–707.

Григорьев В.Г., Стародубцев С.А., Гололобов П.Ю. Мониторинг предвестников геомагнитных возмущений по данным наземных измерений космических лучей // Изв. РАН. Серия физ. 2017. Т. 81, № 2, С. 219–221.

Крымский Г.Ф., Кузьмин А.И., Кривошапкин П.А. и др. Космические лучи и солнечный ветер. Новосибирск: Наука, 1981. 224 с.

Altukhov A.M., Krymsky G.F., Kuzmin A.I. The Method of “Global Survey” for Investigating Cosmic Ray Modulation // Proc. 11-th ICRC. 1969. V. 4. P. 457–460.

Belov A., Abunin A., Abunina M., et al. Galactic cosmic ray density variations in magnetic clouds // Solar Physics. 2015. V. 290, Is. 5. P. 1429–1444.

Bothmer V., Schwenn R. The structure and origin of magnetic clouds in the solar wind // Ann. Geophysicae. 1998. V. 16. P. 1–24.

Cane H.V., Richardson I.G. Interplanetary Coronal Mass Ejections in the Near-Earth Solar Wind During 1996–2002 // JGR. 2003. V. 108, Iss. A4.

Echer E., Alves M.V., Gonzalez W.D. A statistical study of magnetic cloud parameters and geoeffectiveness // J. Atmosph. Solar-Terrestrial Phys. 2005. V. 67, Iss. 10. P. 839–852.

Kilpua E., Schwenn R., Bothmer V. et al. Properties and geoeffectiveness of magnetic clouds in the rising, maximum and early declining phases of solar cycle 23 // Annales Geophysicae. 2005. V. 23. P. 625–641.

Lepping R.P., Jones J.A., Burlaga L.F. Magnetic field structure of interplanetary magnetic clouds at 1 AU // J. Geophys. Res. 1990. V. 95. P. 11957–11965.

Petukhova A.S., Petukhov I.S., Petukhov S.I., et al. Forbush Decrease of Cosmic Rays in a Toroidal Model of Magnetic Cloud // Bull. RAS: Phys. 2017. V. 81, No. 4. P. 532–534.

Petukhova A.S., Petukhov I.S., Petukhov S.I. Image of Forbush Decrease in a Magnetic Cloud by Three Moments of Cosmic Ray Distribution Function // JGR: Space Physics 2019. V. 124. P. 19–31.

Richardson I.G., Cane H.V. Near-Earth Interplanetary Coronal Mass Ejections During Solar Cycle 23 (1996–2009): Catalog and Summary Properties // Solar Phys. 2010. V. 264. P. 189–237.

Starodubtsev S.A., Grigoryev V.G., Gololobov P. Yu. Behavior of zonal components of cosmic ray distribution and Dst-index of geomagnetic field during periods of geoeffective disturbances of solar wind // J. Phys. Conference Series. 2019. V. 1181. P. 012011.

Zhang J., Liemohn M.W., Kozyra J.U., et al. A statistical study of the geoeffectiveness of magnetic clouds during high solar activity years // JGR. 2004. V. 109. A09101.

URL: https://wind.gsfc.nasa.gov/mfi/mag_cloud_pub1.html.

URL: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>.

URL: https://github.com/GYuPetr/MC_collect.