

УДК 524.1-352

МОНИТОРИНГ ГЕЛИОСФЕРЫ, МАГНИТОСФЕРЫ И АТМОСФЕРЫ ПО ЭФФЕКТАМ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ В АВГУСТЕ 2018 ГОДА

© 2023 г. И. И. Ковалев^{1, *}, С. В. Олемской¹, В. Е. Сдобнов¹, А. Н. Дмитриева², В. В. Шутенко²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
“Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук”, Иркутск, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
“Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

*E-mail: ivankov@mail.iszf.irk.ru

Поступила в редакцию 25.12.2022 г.

После доработки 12.02.2023 г.

Принята к публикации 29.03.2023 г.

По данным наземных измерений космических лучей на мировой сети нейтронных мониторов с привлечением данных комплекса мюонных телескопов в Якутске и мюонного годоскопа УРАГАН (Москва) без исправления их на температурный эффект модифицированным методом спектрографической глобальной съемки для события в августе 2018 г. выполнено разделение вариаций космических лучей на составляющие межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения. Получены временные траектории изотропного потока первичных частиц разных жесткостей,pitch-угловой анизотропии космических лучей, ориентации межпланетного магнитного поля, изменения жесткости геомагнитного обрезания в Иркутске и среднемассовой температуры атмосферы в пунктах наблюдений заряженных компонент.

DOI: 10.31857/S036767652370182X, EDN: OSNWXJ

ВВЕДЕНИЕ

Август 2018 г. в основном отличался низким уровнем солнечной активности. Основная масса событий, произошедших на Солнце в этот период, имела низкую геоэффективность [1]. Исключением являлся корональный выброс массы, произошедший 20 августа 21:43 UTC. Источник — эрупция жгута, координаты источника — N40W05. Скорость солнечного ветра (СВ) не превышала 400 км/с. Модуль и B_z -компонента межпланетного магнитного поля (ММП) составили 3.3 и -1.9 нТл. Событие проходило в два этапа и наблюдалось с аппарата STEREO-A, при этом значительных изменений в потоке мягкого рентгена оба этапа не вызвали. Тем не менее, событие вызвало магнитную бурю 25–26 августа 2018 г. В течение геомагнитной бури значение Dst -индекса достигло -175 нТл, скорость СВ — 444 км/с. Модуль и B_z -компонента ММП достигли значений 18.2 и -14.7 нТл соответственно. Магнитная буря сопровождалась форбуш-эффектом [3]. Также на некоторых станциях космических лучей (КЛ) — преимущественно в северном полушарии — после форбуш-эффекта наблюдалось резкое повышение интенсивности КЛ. Согласно моделированию ISWA [4], KBM был направлен под небольшим углом в сто-

рону севера и не затронул южное полушарие планеты.

Целью данной работы является исследование состояния гелиосферы, магнитосферы и атмосферы в период августа 2018 г. по данным наземных наблюдений интенсивности КЛ на мировой сети станций с привлечением данных Якутского комплекса мюонных телескопов (МТ) (ИКФИА СО РАН, Якутск) [5] и мюонного годоскопа УРАГАН (МИФИ, Москва) [6, 7].

МЕТОД И ДАННЫЕ

Анализ проводился с помощью метода спектрографической глобальной съемки (СГС) [8, 9]. Данный метод использует данные мировой сети нейтронных мониторов и успешно применяется для анализа событий в межпланетной среде [10, 11]. Благодаря учету магнитосферных вариаций метод СГС может также использоваться для проверки моделей магнитосферы [12].

Метод был модифицирован для использования данных заряженных компонент КЛ без введения предварительных поправок на температурный эффект [13]. Привлечение данных заряженной компоненты позволяет увеличить диапазон энергий регистрируемых первичных КЛ и расши-

ритель наблюдательную базу [14]. Также в результате модификации метод приобрел дополнительную возможность получать информацию о температурном режиме атмосферы.

В данном исследовании использовались среднечасовые данные: мировой сети нейтронных мониторов (36 станций); мюонного годоскопа УРАГАН – интенсивности частиц под зенитными углами 0–17, 17–26, 26–34, 34–44, 44–90 градусов, интегрированные по азимутальному углу, зарегистрированные тремя супермодулями (15 каналов) [6, 7]; комплекса мюонных телескопов в Якутске (использовались сглаженные скользящим средним данные 10 каналов телескопов на уровнях 0 и 7 м.в.э.) [5].

В качестве базового уровня для расчета относительной интенсивности была выбрана средняя скорость счета за 1 августа 2018 г.

Для проверки достоверности полученных результатов по ориентации ММП привлекались данные OmniWEB [15], а также данные по температурному разрезу, полученному от системы прогнозирования атмосферы GDAS [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведены модуль ММП ($|B|$), скорость солнечного ветра (V), наблюдаемые на космических аппаратах (КА) (сплошная линия) и рассчитанные по данным наземных измерений на мировой сети станций КЛ (штриховая линия) широта (Ψ_0) и долгота (λ_0) направления вектора ММП, вариации изотропного потока ($\Delta J/J$), амплитуды первой (A_1) и второй (A_2) гармоник питч-угловой анизотропии для частиц с жесткостью 4 ГВ и изменения жесткости геомагнитного обрезания (ЖГО) (ΔR_c) для Иркутска ($R_c = 3.66$ ГВ).

Можно отметить общее согласие данных о направлении вектора ММП, полученных от КА и методом СГС.

По совокупности данных, представленных на рис. 1, за август 2018 г. можно выделить два события, 15–17 и 25–27 августа. Первое из них характеризуется форбуш-эффектом и отрицательным изменением ЖГО, Dst -индекс достигал значения -34 нТл, скорость солнечного ветра 543 км/с, модуль и B_z -компонента ММП 9.5 и -7.9 нТл соответственно. При этом значение ΔR_c в Иркутск составило ~ -0.36 ГВ, падение интенсивности изотропного потока частиц с жесткостью 4 ГВ на границе магнитосфер: -5% .

Более значительным является второе событие, более подробно описанное во введении. По данным СГС наблюдается: максимальное падение интенсивности изотропного потока частиц с жесткостью 4 ГВ на границе магнитосферы за период 25–27 августа вместе с форбуш-эффектом

до $\sim -15\%$; повышения амплитуды A_1 за период 25–27 августа до 30%, свидетельствующие о входе и выходе Земли из образования типа магнитной ловушки [6]; повышение амплитуды A_2 до 5%, свидетельствующее о наличии на орбите Земли структуры типа магнитной петли в период 25–27 августа [18]. Максимальное изменение ΔR_c в период геомагнитного возмущения в Иркутске составило ~ -1.04 ГВ, а временной ход ΔR_c хорошо коррелирует с временным ходом Dst -индекса (коэффициент корреляции ~ 0.8).

В пунктах измерения интенсивности заряженных компонент (Москва и Якутск) модифицированным методом СГС получены изменения и значения среднемассовой температуры. Результаты приведены на рис. 2. Можно отметить удовлетворительное согласие с данными GDAS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По наземным наблюдениям КЛ на мировой сети нейтронных мониторов с привлечением данных измерений интенсивности заряженных компонент в Якутске (ИКФИА СО РАН) и Москве (МИФИ) проведен мониторинг межпланетной среды, магнитосферы и атмосферы Земли в августе 2018 г. Получены вариации первичных КЛ различных жесткостей на орбите Земли, амплитуды питч-угловой анизотропии КЛ, информация об ориентации и конфигурации ММП, изменения планетарной системы ЖГО в периоды геомагнитных возмущений, а также среднемассовая температура атмосферы в точках измерений интенсивности заряженных компонент.

Для периода магнитной бури 25–27 августа 2018 года определено падение интенсивности изотропного потока частиц (-15% для частиц с жесткостью 4 ГВ) и изменение ЖГО (-1.04 ГВ в Иркутске). Также по анализу поведения амплитуд первой и второй гармоник питч-угловой анизотропии установлено наличие в этот период на орбите Земли структур типа “петлеобразная магнитная ловушка”.

Показано, что по данным наблюдений интенсивности КЛ на мировой сети станций с привлечением данных наблюдений заряженных компонент можно эффективно проводить мониторинг и диагностику некоторых параметров, как межпланетной среды и магнитосферы, так и атмосферы Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (государственное задание № 075-00964-20-01). Результаты получены на оборудовании Центра коллективного пользования “Ангара” <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/> и Уникальной научной установки “Российская нацио-

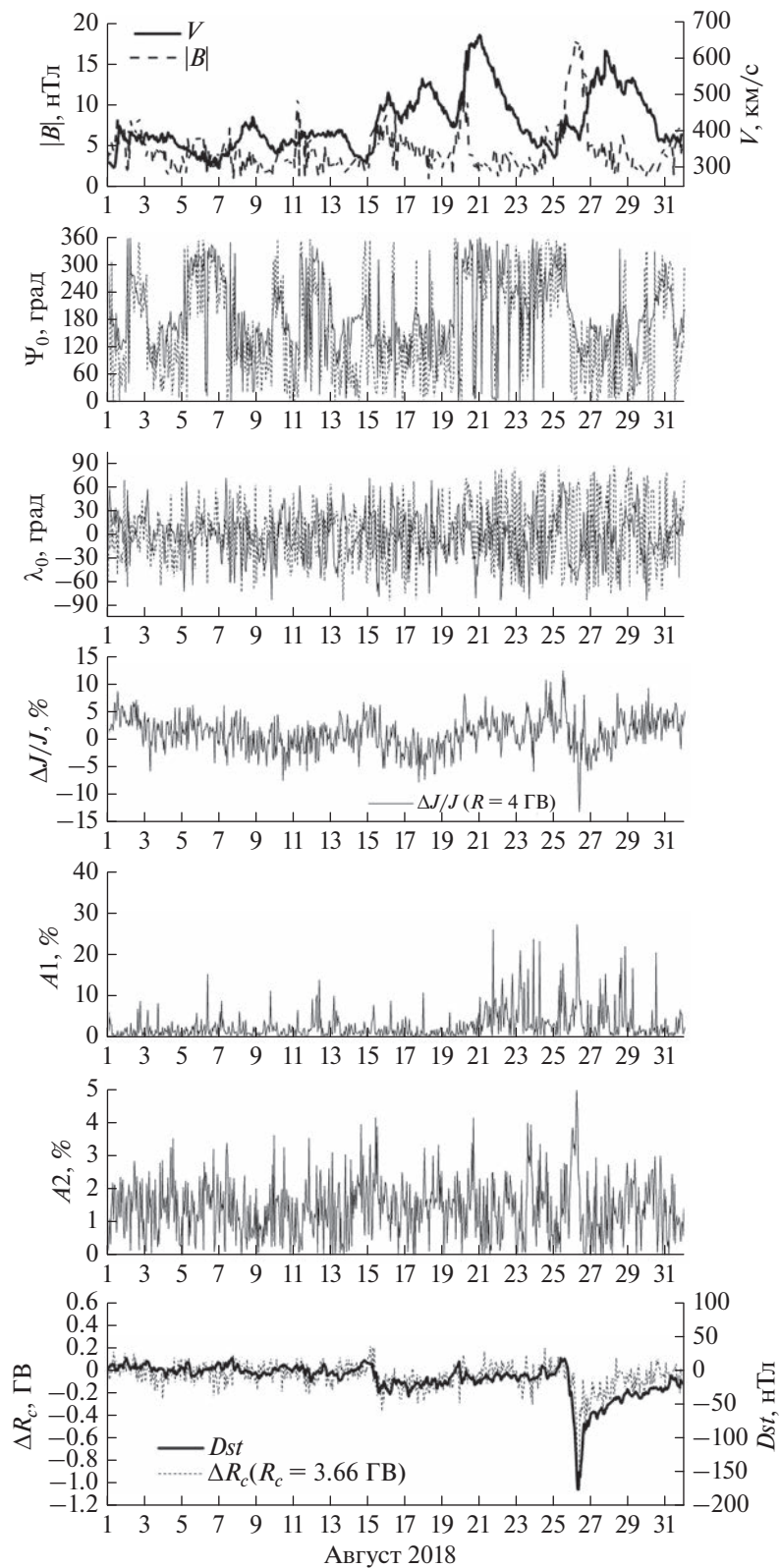


Рис. 1. Модуль ММП ($|B|$) скорость солнечного ветра (V), эклиптические долгота (ψ_0) и широта (λ_0) ориентации ММП, изотропная компонента ($\Delta J/J$) и вариации интенсивности НМ ($\Delta I/I$) в Оулу, 1-я ($A1$) и 2-я ($A2$) гармоники питч-угловой анизотропии для частиц с жесткостью 4 ГВ, а также изменение ЖГО в Иркутске (ΔR_c) и Dst -индекс за август 2018 г.

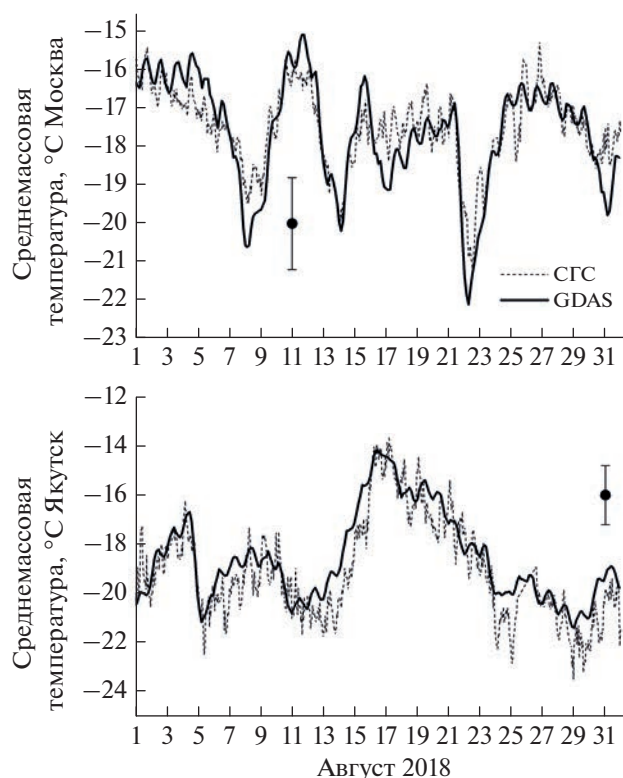


Рис. 2. Временной ход среднemasовой температуры атмосферы над Москвой и Якутском. Сплошная линия – данные GDAS, пунктирная линия – результаты, полученные расширенным методом CFC по данным наблюдений КЛ.

нальная наземная сеть станций космических лучей (Сеть СКЛ)”.

Авторы выражают благодарность Петру Гололову и Сергею Стародубцеву (Институт космофизических исследований и аэронауки) за предоставление данных Якутского комплекса МТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI>.
2. <https://solarmonitor.org>.
3. Abunin A.A., Abunina M.A., Belov A.V., Chertok I.M. // Solar Phys. 2020. V. 295. Art. No. 7.
4. <https://iswa.gsfc.nasa.gov/IswaSystemWebApp>.
5. <https://www.ysn.ru/ipm/yktMT00>.
6. Барбашина Н.С., Езубченко А.А., Кокоулин Р.П. и др. // ПТЭ. 2000. № 6. С. 20; Barbashina N.S., Ezubchenko A.A., Kokoulin R.P. et al. // Instrum. Exp. Tech. 2000. No. 6. P. 743.
7. Шутенко В.В., Астапов И.И., Барбашина Н.С. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. № 5. С. 714; Shutenro V.V., Astapov I.I., Barbashina N.S. et al. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2015. V. 79. No. 5. P. 660.
8. Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., Sergeev A.V. // Proc. 18th ICRC. V. 3. (Bangalore, 1983). P. 249.
9. Dvornikov V.M., Sdobnov V.E. // IJGA. 2002. V. 3. No. 3. P. 217.
10. Сдобнов В.Е. // Изв. РАН. Сер. физ. 2011. Т. 75. № 6. С. 854; Sdobnov V.E. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2011. V. 75. No. 6. P. 805.
11. Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77. № 5. С. 602; Kravtsova M.V., Sdobnov V.E. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2013. V. 77. No. 5. P. 538.
12. Тясто М.И., Данилова О.А., Сдобнов В.Е. // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77. № 5. С. 611; Tyasto M.I., Danilova O.A., Sdobnov V.E. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2013. V. 77. No. 5. P. 547.
13. Kovalev I.I., Olemskoy S.V., Sdobnov V.E. // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2022. V. 235. Art. No. 105887.
14. Янчуковский В.Л., Сдобнов В.Е. // Изв. РАН. Сер. физ. 2011. Т. 75. № 6. С. 920; Yanchukovsky V.L., Sdobnov V.E. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2011. V. 75. No. 6. P. 869.
15. <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html>.
16. http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/index.html.
17. <http://ready.arl.noaa.gov/gdas1.php>.
18. Richardson I.G., Dvornikov V.M., Sdobnov V.E., Cane H.V. // J. Geophys. Res. 2000. V. 105A. Art. No. 12579.

Monitoring of heliosphere, magnetosphere and atmosphere via cosmic ray effects in August 2018

I. I. Kovalev^{a,*}, S. V. Olemskoy^a, V. E. Sdobnov^a, A. N. Dmitrieva^b, V. V. Shutenko^b

^aInstitute of Solar-Terrestrial Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033 Russia

^bNational Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

*e-mail: ivankov@mail.iszf.irk.ru

Using data of ground-level cosmic ray measurements on the neutron monitor network, along with data of Yakutsk muon telescope complex and muon hodoscope URAGAN (Moscow) uncorrected for temperature, we used modified spectrographic global survey method for an August 2018 event to split cosmic ray variations into components of primary, magnetospheric and atmospheric origin. Time evolutions of isotropic primary flux for different rigidities, pitch-angle anisotropy of cosmic rays, interplanetary magnetic field orientation were obtained, variations in geomagnetic cut-off rigidity in Irkutsk and average-mass temperature over charged components' measurement sites were also shown.