

Исследование околоземного космического пространства,
магнитосферы и атмосферы Земли во время сильной
магнитной бури 25-26 августа 2018 г. на основе измерений
ГКЛ

П.Ю. Гололобов¹, И.И. Ковалев², С.А. Стародубцев¹, В.Г. Григорьев¹,
М.В. Кравцова², Г.Ф. Крымский¹, С.В. Олемской², В.Е. Сдобнов²

¹ ИКФИА СО РАН

² ИСЗФ СО РАН

12 июля 2023 г.

Тезис

К анализу привлекались данные прямых измерений параметров межпланетной среды на космических аппаратах из известной базы данных OMNI, измерений КЛ на геостационарных спутниках серии GOES, мировой сети нейтронных мониторов, мюонного годоскопа УРАГАН и мюонных телескопов Якутского спектрографа КЛ им. А.И. Кузьмина.

Событие геомагнитного возмущения 25-26 августа 2018 г.

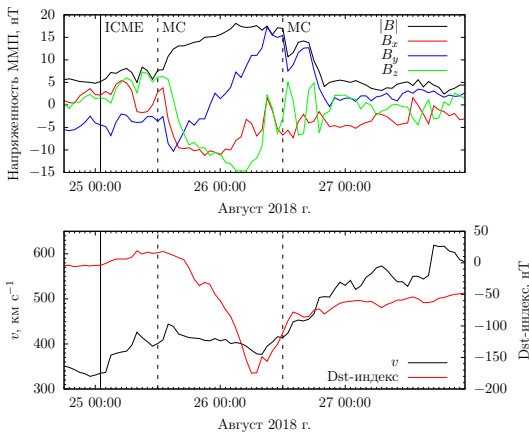


Рис. 1: Поведение компонент вектора напряженности ММП, скорости СВ и Dst-индекса геомагнитной возмущенности 25-27 августа 2018 г. Границы ICME и MC определены согласно каталогу WIND (https://wind.nasa.gov/ICME_catalog/ICME_catalog_viewer.php)

Событие геомагнитного возмущения 25-26 августа 2018 г.

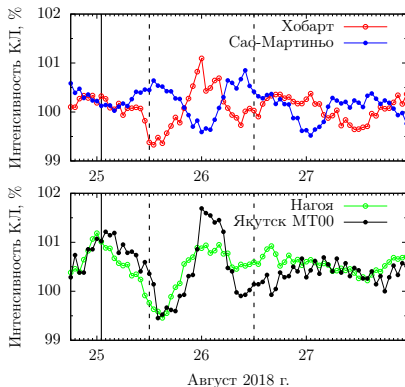


Рис. 2: Интенсивность КЛ по данным МТ сети GMDN и Якутского МТ на уровне 0 м в.э. за период 25-27 августа 2018 г.

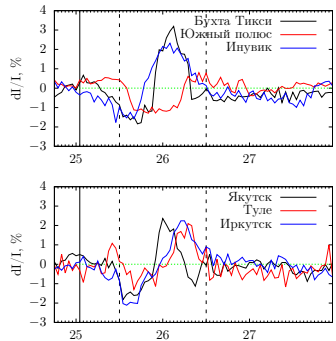


Рис. 3: Интенсивность КЛ по данным станций мировой сети нейтронных мониторов за период 25-27 августа 2018 г.

Метод глобальной съемки

Искажающее влияние геомагнитного поля и атмосферы Земли на вариации КЛ учитывается при помощи метод приемных векторов [Krymsky et al., 1966; Fujimoto et al., 1984].

$$I = \vec{R}\vec{A},$$

$$\vec{R} = (x_0^0, x_1^0, x_1^1, y_1^1, x_2^0, x_2^1, y_2^1, x_2^2, y_2^2), \vec{A} = (a_0^0, a_1^0, a_1^1, b_1^1, a_2^0, a_2^1, b_2^1, a_2^2, b_2^2).$$

Метод глобальной съемки [Altukhov et al., 1971]

$$I_j = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (a_n^{m,0} x_n^{m,j} + b_n^{m,0} y_n^{m,j}) K_{n,j}^j, j = 1, 2, \dots$$

$$z_n^m = x_n^m + iy_n^m$$

$$z_n^m = \frac{\int_{R_c}^{\infty} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} W(E, \Theta) f_n(E) N(\Theta, \varphi) e^{im\Psi} P_n^m(\sin\Psi) \sin\Theta dE d\varphi d\theta}{\int_{R_c}^{\infty} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} W(E) f_n(E) N(\Theta, \varphi) \sin\Theta dE d\varphi d\theta},$$

Метод глобальной съемки (ГС)

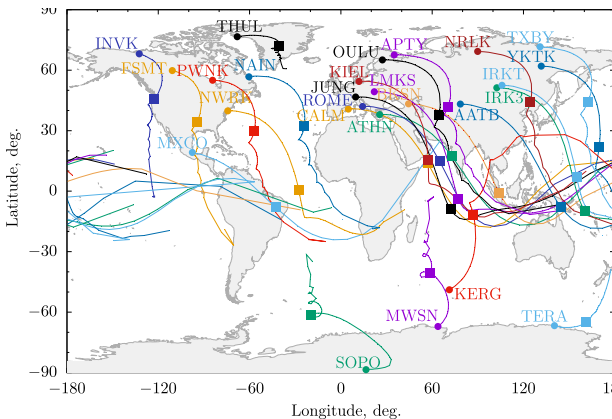


Рис. 4: Асимптотические углы прихода частиц к станциям нейтронных мониторов мировой сети входящих в БД NMDB

Результаты полученные с использованием метода ГС

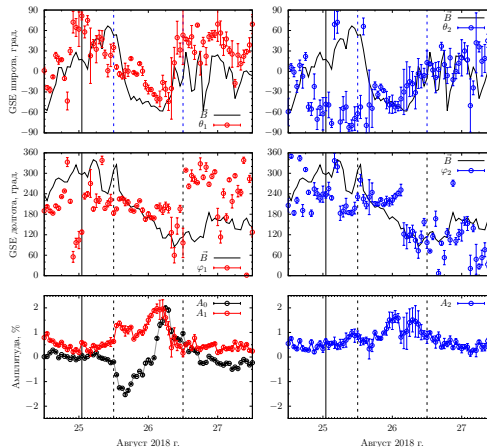


Рис. 5: Сопоставление пространственного направления первой и второй гармоник распределения КЛ с направлением ММП за 25-27 августа 2018 г. На нижних панелях представлены амплитуды нулевой, первой и второй моментов распределения.

Результаты полученные с использованием метода ГС

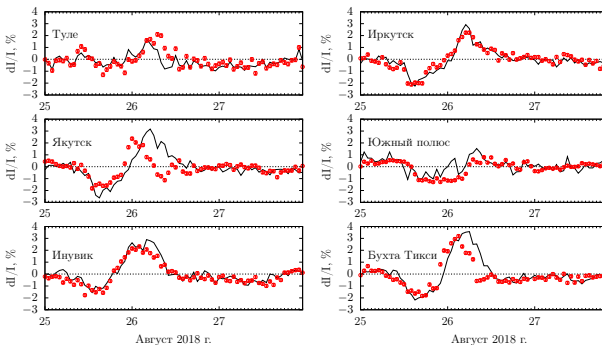


Рис. 6: Сопоставление интенсивности КЛ наблюдаемой на нейтронных мониторах мировой сети и ожидаемых от МГС за 25-27 августа 2018 г.

Метод спектрографической глобальной съемки (СГС)

Предполагается, что наблюдаемые наземным детектором КЛ вариации интенсивности определяются следующим выражением:

$$\frac{\Delta I_{c,i}^1}{I_{c,i}^1} = - \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \Delta R_c(\alpha, \beta) W_{c,1}^1[R_c(\alpha, \beta), \alpha, \beta, h_1] \sin \beta d\beta d\alpha +$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \int_{R_c(\alpha, \beta)}^{\infty} \frac{\Delta J}{J}(R, \alpha, \beta) W_{c,1}^1[R, \alpha, \beta, h_1] \sin \beta d\beta d\alpha dR +$$

$$\int_0^{h_1} V_c^i(T_0, h_0, h) \Delta T_c(h) dh$$

Результаты полученные с использованием метода СГС

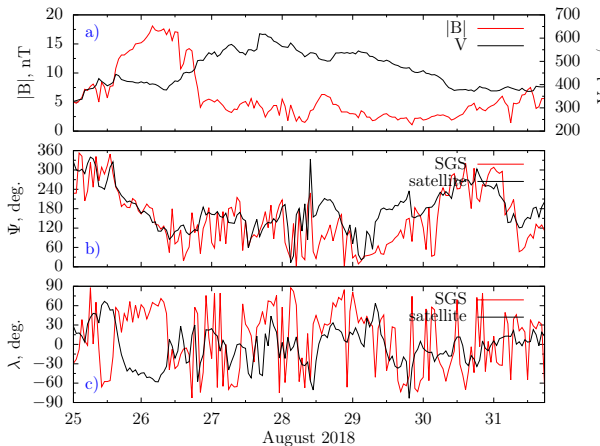


Рис. 7: (a)- Напряженность ММП и скорость солнечного ветра. (b,c) - Измеренные на борту космических аппаратов и полученные по результатам метода СГС долгота и широта направления вектора ММП.

Результаты полученные с использованием метода СГС

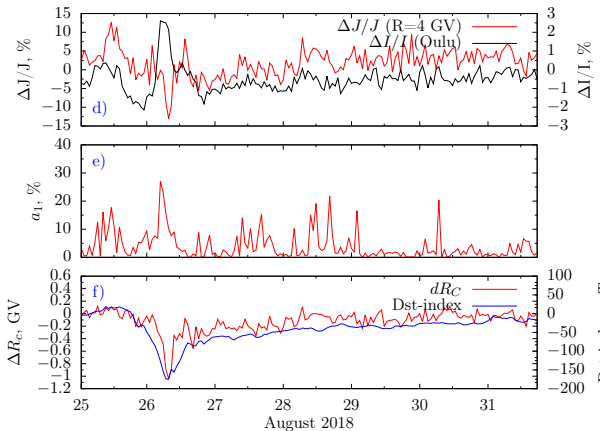


Рис. 8: (d) - Относительные вариации интенсивности КЛ с жесткостями 4 ГВ $\Delta J/J$ (красная кривая) по расчетам СГС и по данным нейтронного монитора Оулу $\Delta I/I$ (черная кривая). (e) - Амплитуда первой гармоники пичч угловой анизотропии a_1 . (f) - Dst-индекс и вариации жесткости геомагнитного поля (ΔR_c) над Иркутском.

Полученные результаты с использованием метода СГС

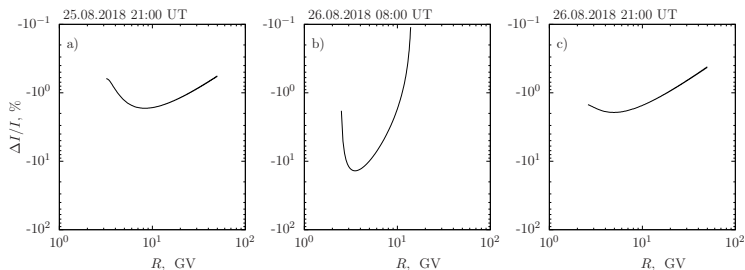


Рис. 9: Спектры вариаций ГКЛ на фазах начала (а), максимальной модуляции (б) и восстановления Форбуш понижения (в)

Результаты полученные с использованием метода СГС

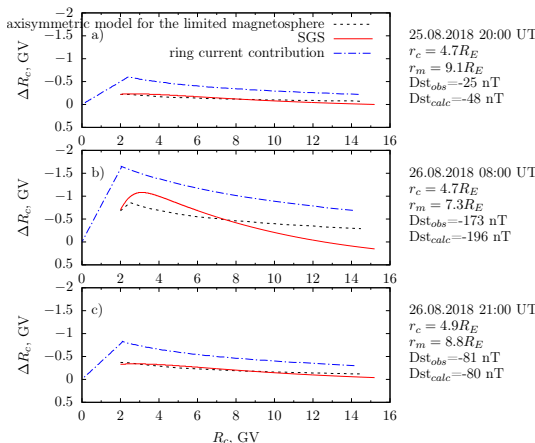


Рис. 10: Вариации жесткости геомагнитного обрезания на фазах начала (а), максимальной модуляции (б) и восстановления (в) возмущения СВ.

Результаты полученные с использованием метода СГС

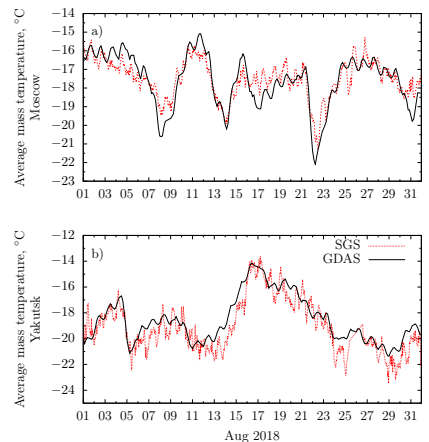


Рис. 11: Временной ход среднemasовой температуры на станциях Москва и Якутск за август 2018 г. Сплошные черные соответствуют данным наблюдений GDAS, пунктирные красные - полученные при помощи метода СГС.

Заключение

- Получены данные об ориентации ММП за исследуемый период, согласующиеся с данными, полученными от космических аппаратов.
- Получен временной ход изменения ЖГО в Иркутске за исследуемый период, коррелирующий с Dst-индексом.
- Получен временной ход среднемассовой температуры над пунктами регистрации
- Рассчитаны дифференциальные спектры первичных КЛ на разных этапах развития магнитной бури в широком диапазоне энергий.
- Показано поведение пространственно-углового распределения КЛ в период магнитной бури 25-26 августа 2018 г.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России.
Результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Ангара»
<http://ckp-rf.ru/ckp/3056/> и Уникальной научной установки «Российская
национальная наземная сеть станций космических лучей» (Сеть СКЛ)
[<https://ckp-rf.ru/usu/433536/>].