

## ФОРБУШ-ЭФФЕКТ 1-10 ИЮНЯ 2025 ГОДА: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННОГО МОНИТОРА И КОСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

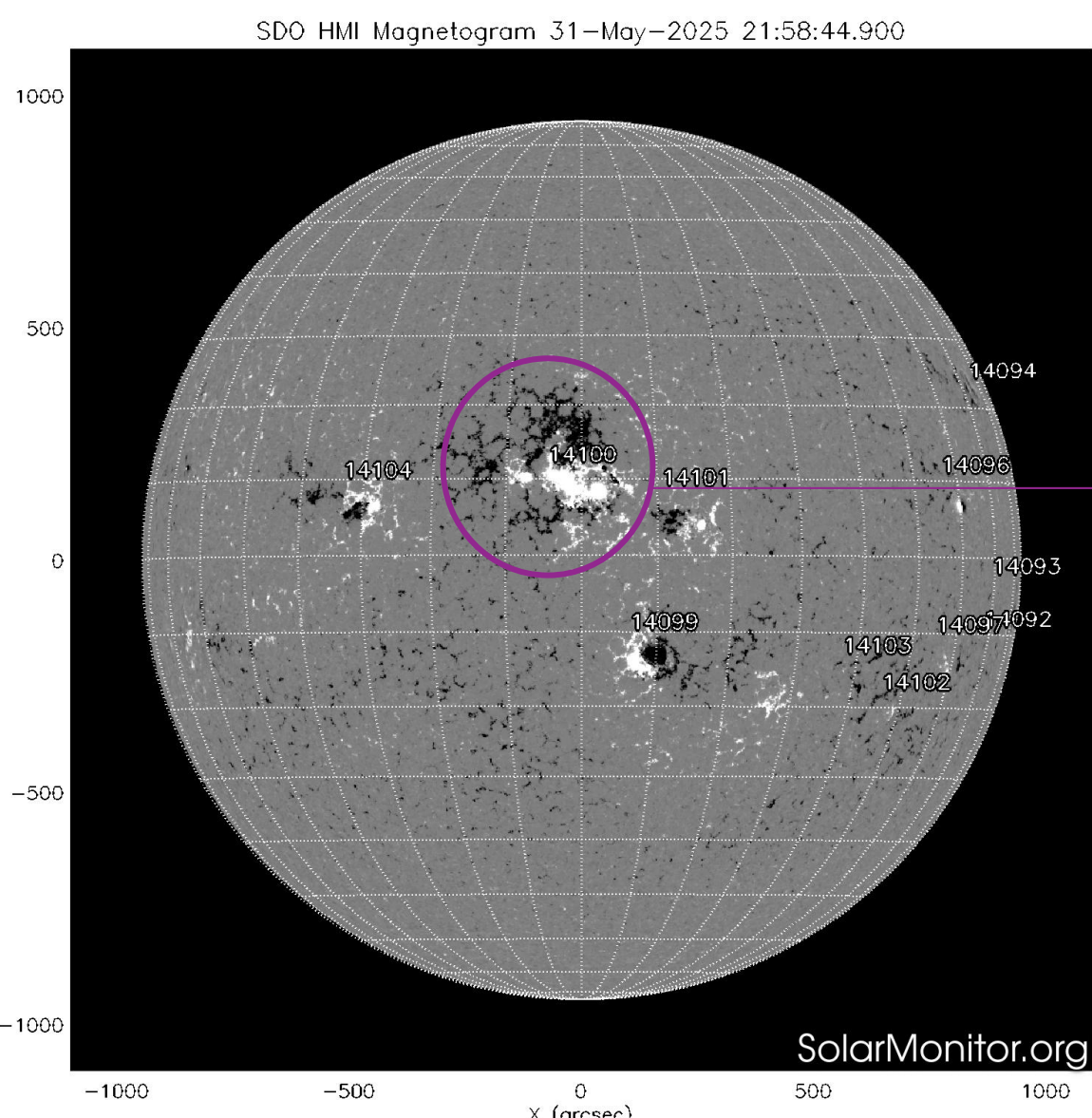
Сейфуллина Б.Б.<sup>1,2</sup>, Крякунова О.Н.<sup>1</sup>, Цепакина И.Л.<sup>1</sup>, Николаевский Н.Ф.<sup>1</sup>, Койчубаев Р.Е.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан,

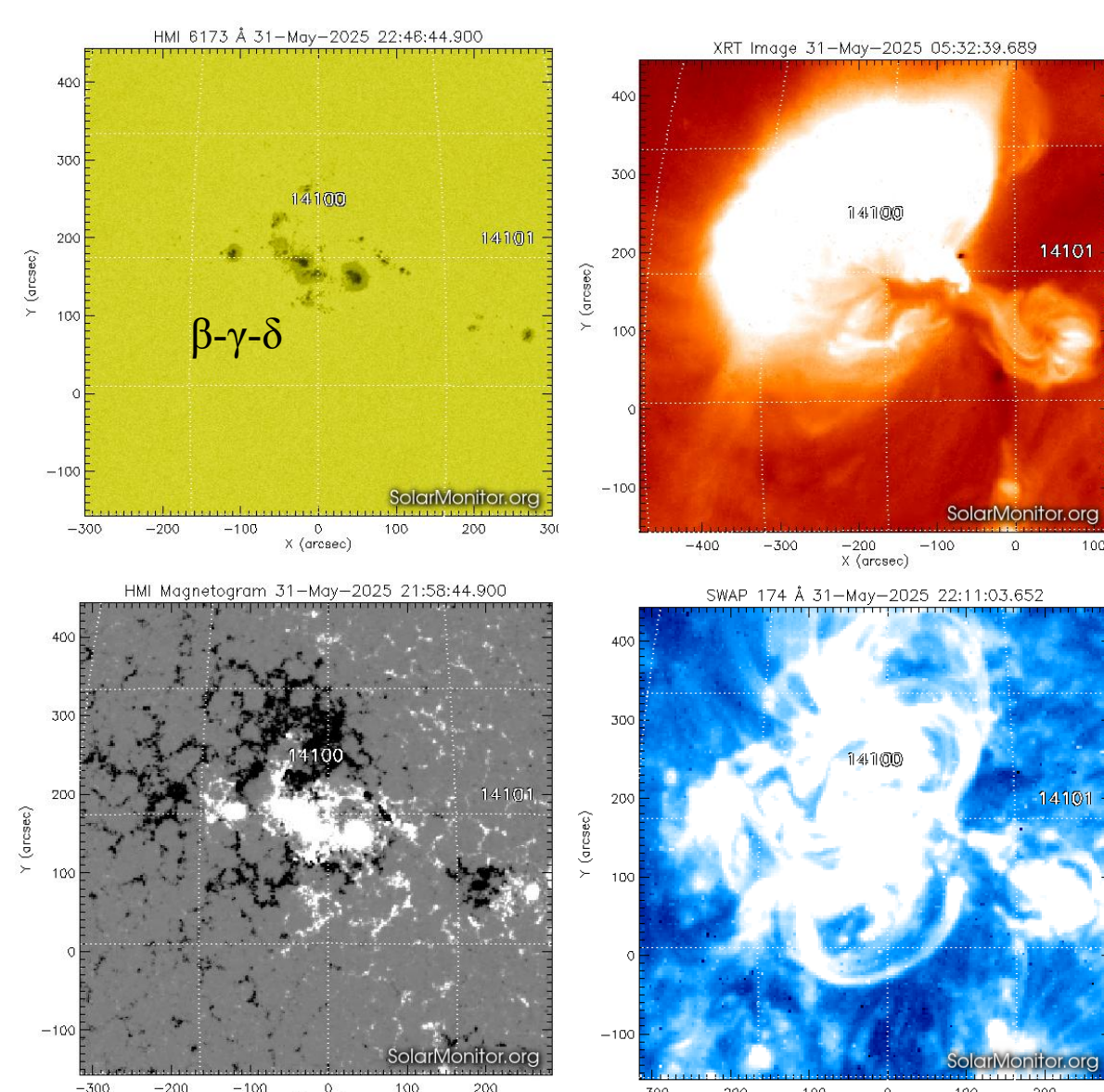
<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

В данной работе проведён анализ события, зарегистрированного в период 1-10 июня 2025 г. нейтронным монитором ААТВ (Алматы, Казахстан; 3340 м над уровнем моря; жесткость геомагнитного обрезания  $R = 5.9$  ГВ). Амплитуда снижения интенсивности космических лучей, зарегистрированная нейтронным монитором, составила около 12%, что позволяет классифицировать данное событие как большой Форбуш-эффект. Активная область AR 14100 стала источником возмущений, породив серию вспышек классов M3.4 и M8.1 (30-31 мая 2025 г.), сопровождавшихся быстрыми корональными выбросами массы (КВМ) типа гало со скоростями до 1700 км/с. Сопоставление данных нейтронного монитора с межпланетными параметрами показало классическую структуру межпланетного КВМ, включающую межпланетную ударную волну 1 июня, 05:45 UT, область возмущенной сжатой плазмы и область коронального выброса до 2 июня, 01:10 UT. Событие сопровождалось развитием интенсивной геомагнитной бури, максимальная фаза которой наблюдалась 2 июня. Результаты демонстрируют тесную взаимосвязь между солнечной активностью, динамикой межпланетного КВМ и модуляцией потоков галактических космических лучей ГКЛ, подчёркивая значимость комплексного подхода к диагностике и прогнозированию космической погоды.

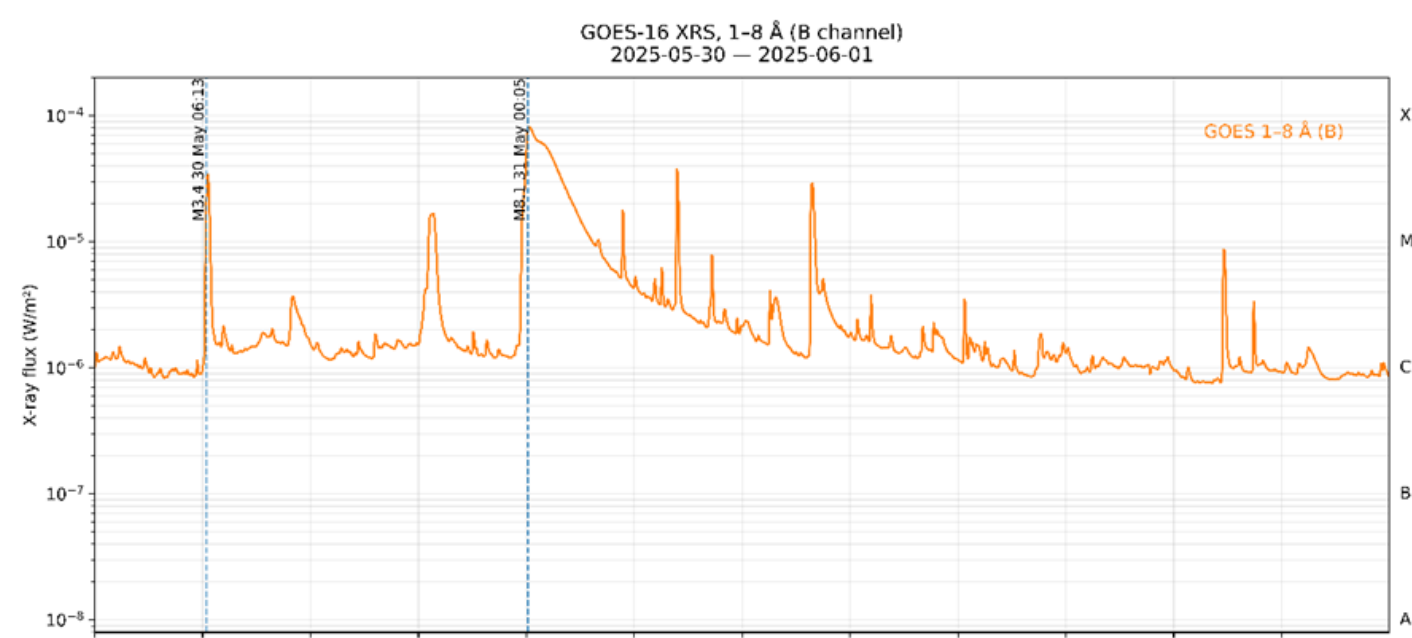


Изображение солнечного диска и AO14100 по данным SDO/ Solarmonitor.org



Изображение AO14100 по данным solarmonitor.org

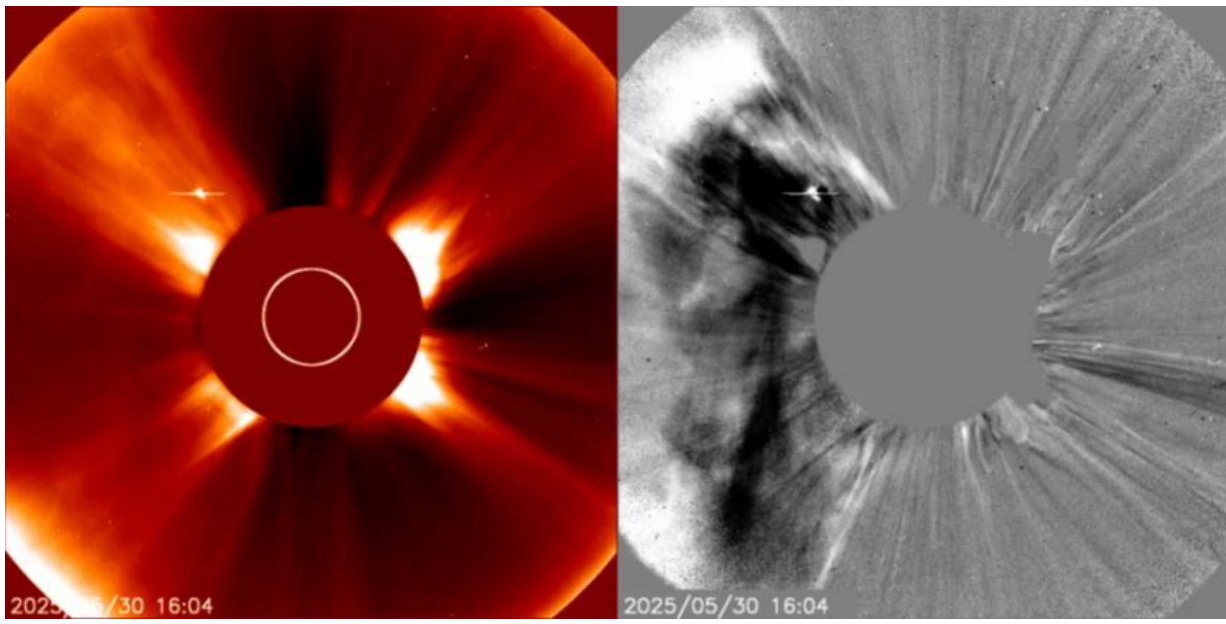
Эволюция крупной активной области с сильными магнитными полями сопровождалась серией вспышек класса M, произошедших за короткий промежуток времени. В период с 30 по 31 мая 2025 г. в активной области AR 14100 было зарегистрировано несколько вспышек класса M, две из которых сопровождались значительными КВМ.



Рентгеновское излучения Солнца по данным спутника GOES-16

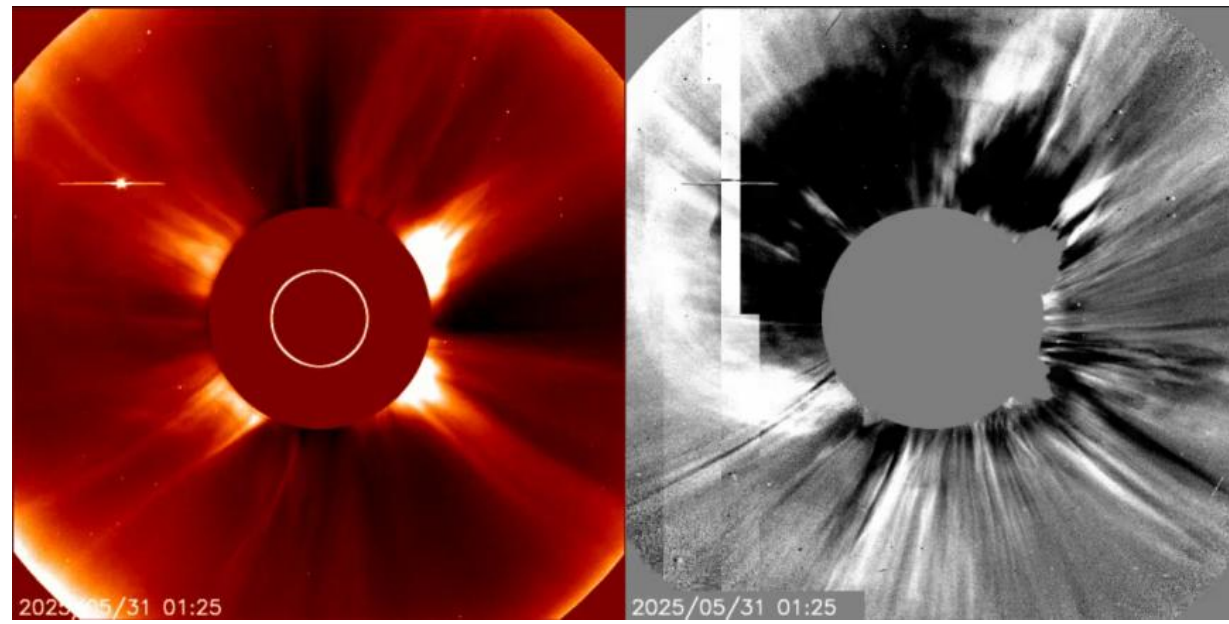
В период с 30 мая по 1 июня 2025 г. была зафиксирована серия солнечных вспышек, среди которых наиболее значимыми являются кратковременная вспышка класса M3.4 (30 мая, 06:13 UT) и наиболее мощная и продолжительная вспышка класса M8.1 (31 мая, 00:05 UT).

Первое событие – это вспышка класса M3.4, произошедшая 30 мая 2025 г. в 06:13 UT, которая сопровождалась КВМ со скоростью около 700 км/с, зафиксированным коронографом SOHO/LASCO C2 в 07:12 UT.



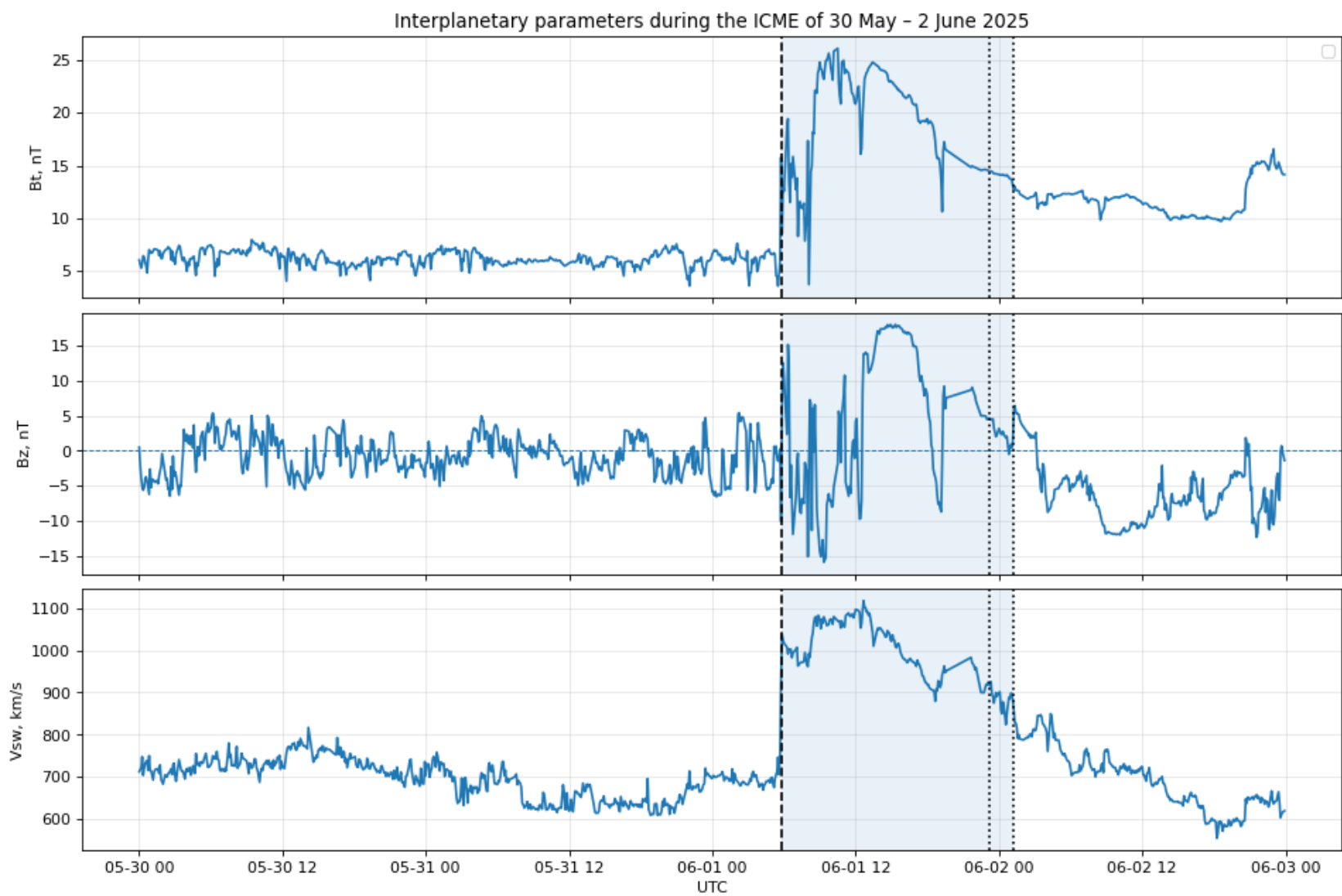
Корональный выброс массы от вспышки M3.4 по данным SOHO/LASCO C2

Второе событие – более мощная вспышка класса M8.1, произошедшая 31 мая 2025 г. в 00:05 UT, сопровождалась быстрым КВМ, зарегистрированным SOHO/LASCO C2 в 01:36 UT со скоростью около 1700 км/с.



Корональный выброс массы от вспышки M8.1 по данным SOHO/LASCO C2

Область sheath характеризуется высоким уровнем турбулентности и усиленным магнитным полем, а ежета проявляет более стабильную структуру – пониженную вариацию и постепенное снижение.

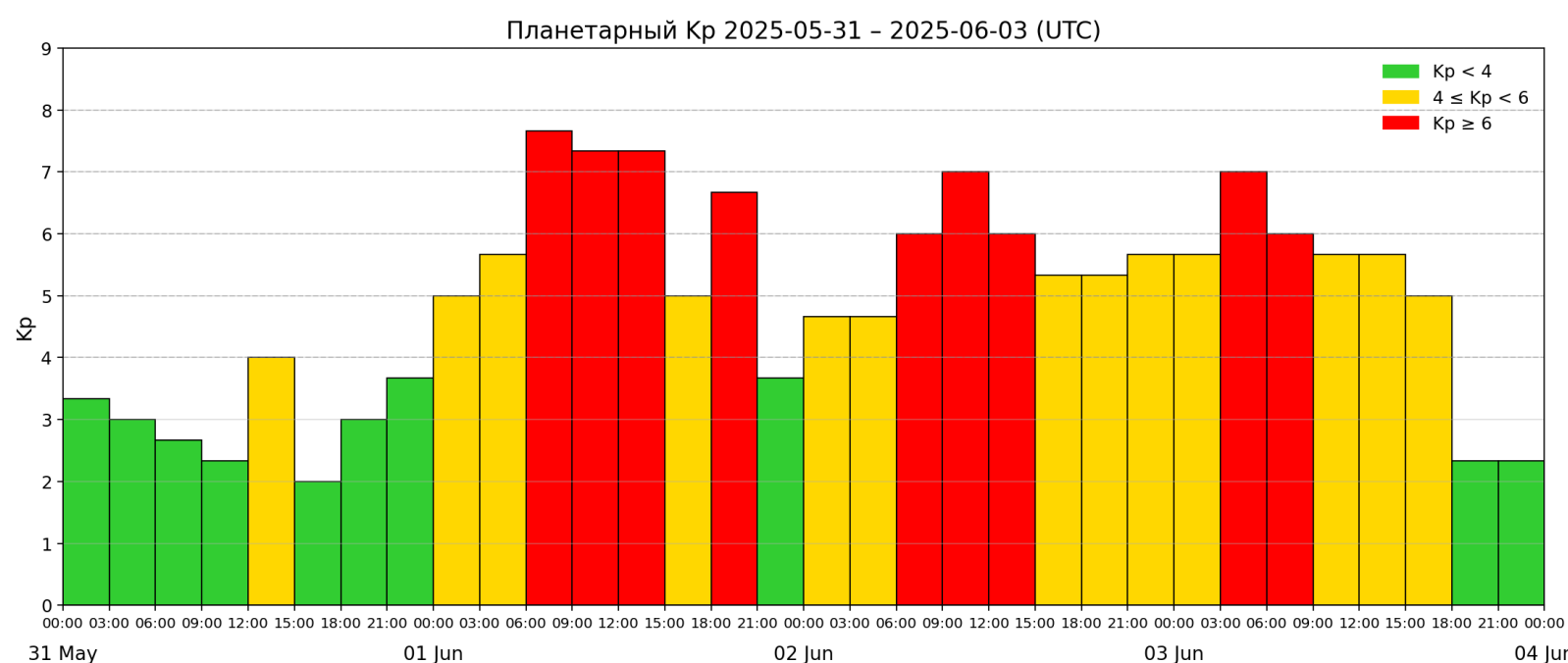


Изменение магнитного поля и скорости солнечного ветра во время геомагнитной бури OMNI

После удара формируется область sheath, характеризующаяся сильной турбулентностью магнитного поля и повышенным уровнем Bt. Переход к ежета определяется по резкому снижению турбулентности при сохранении высокой величины Bt, что образует характерный «спокойный» участок магнитного поля. Начало ежета зафиксировано на 2025-06-01 в 23:10 UT. Окончание ежета. Завершение ежета отмечается при возвращении Bt к фоновым уровням, наблюдавшимся до события. Для этого случая конец ежета определён на 2025-06-02 в 01:10 UT.

Максимальные, минимальные и средние значения параметров ММП и солнечного ветра

Полный вектор напряжённости межпланетного магнитного поля	$B_{t,max} = 26.11$ нТл	$B_{t,min} = 3.58$ нТл	$B_{t,mean} = 9.82$ нТл
Z-компонента межпланетного магнитного поля	$B_{z,max} = 18.02$ нТл	$B_{z,min} = -15.93$ нТл	$B_{z,mean} = -1.27$ нТл
Скорость солнечного ветра	$V_{sw,max} = 1117.35$ км/с	$V_{sw,min} = 554.90$ км/с	$V_{sw,mean} = 746.38$ км/с

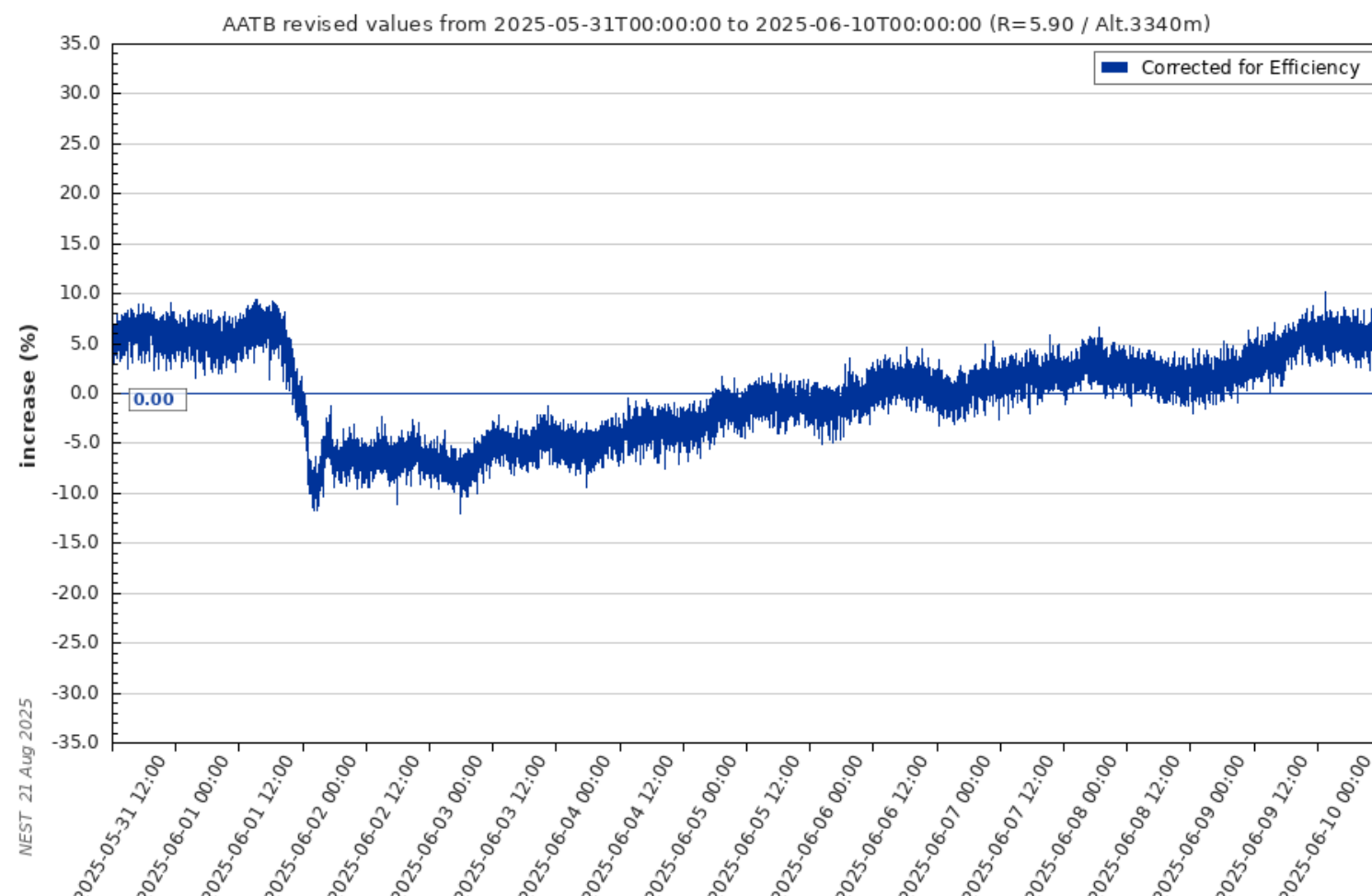


Изменения Kp в период геомагнитной бури 31 мая - 3 июня 2025 г. GFZ Potsdam

Событие 1-10 июня 2025 г. иллюстрирует классическую последовательность:

солнечная вспышка + КВМ → межпланетный КВМ → ударная волна и ежета → Форбуш-эффект в интенсивности ГКЛ

Большая амплитуда понижения ~12 % и длительная фаза восстановления подтверждают значительную энергетику источника и важную роль КВМ в формировании больших ФЭ.



Интенсивность космических лучей, зарегистрированная нейтронным монитором ААТВ (Алматы, 3340 м,  $R = 5.9$  ГВ) в период с 31 мая по 10 июня 2025 г. [www.nmdb.eu](http://www.nmdb.eu)

В период с 31 мая по 3 июня 2025 г. была зарегистрирована большая геомагнитная буря. 1 июня наблюдался резкий рост индекса Kp до значения 7, событие представляет собой продолжительную магнитную бурю, вызванную мощным КВМ из активной области AO14100, которая сопровождалась типичными проявлениями большого возмущения и ФЭ в ГКЛ.

- В начале интервала интенсивность на фоновом уровне около +5 %.
- 1 июня 2025 года зафиксирован ФЭ с резким понижением ~12 % относительно фона.

Зарегистрированное событие демонстрирует типичный ФЭ с довольно быстрой фазой понижения и последующим медленным восстановлением интенсивности ГКЛ из-за воздействия межпланетных возмущений на поток частиц космических лучей.

Определение границ межпланетного КВМ играет ключевую роль в интерпретации ФЭ. Оно позволяет установить, какое именно возмущение вызвало событие, зафиксировать момент его начала, продолжительность и условия модуляции космических лучей.

Зарегистрированный ФЭ является экстремальным событием космической погоды.