

## БАЗА ДАННЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ И ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ

С.М. Белов, А.В. Белов, Н.С. Шлык, М.А. Абунина

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им Н.В. Пушкова, Москва, Россия,  
izmiran.crdt@gmail.com

## DATABASE OF INTERPLANETARY DISTURBANCES AND FORBUSH EFFECTS

S.M. Belov, A.V. Belov, N. S. Shlyk, M.A. Abunina

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS (IZMIRAN), Moscow, Russia,  
izmiran.crdt@gmail.com

**Аннотация.** Разработан новый уникальный интерфейс для работы с базой данных бурь в космических лучах, свободно доступный всем пользователям сети Интернет. Каталог событий в космических лучах, связанных с солнечной активностью (Форбуш-эффектов), создается коллективом ИЗМИРАН на протяжении многих лет и известен как FEID (Forbush Effects and Interplanetary Disturbances). На данный момент в нем зарегистрировано 8700 событий, начиная с 1954 года, из которых для 2500 событий установлен солнечный источник. Основные параметры космических лучей рассчитываются с помощью метода глобальной съемки (GSM) по данным мировой сети нейтронных мониторов.

**Ключевые слова:** программные инструменты, базы данных, космические лучи, солнечная активность, солнечный ветер, межпланетные возмущения, Форбуш-эффекты

**Abstract.** A new interface, accessible to any internet user, was developed for accessing the database of Forbush-effects and Interplanetary Disturbances (FEID). Catalogue of cosmic-ray events has been constantly worked on by the IZMIRAN group over the last decades and currently includes more than 8700 events, starting from the year 1954, with a solar source determined for 2500 events. Cosmic rays' parameters are obtained using spherical analysis – the Global Survey Method (GSM) on the global neutron monitor network data.

**Keywords:** research tools, databases, cosmic rays, solar activity, solar wind, interplanetary disturbances, Forbush effects

### ВВЕДЕНИЕ

Форбуш-эффект (ФЭ) — изменение потока космических лучей (КЛ) в связи с солнечной активностью: воздействием потоков плазмы из корональных дыр (КД) и/или выбросов солнечного вещества [Belov, 2009]. Это очень интересный феномен, так как различные фоновые условия и различные события на Солнце каждый раз порождают уникальный эффект в результате своего взаимодействия [Shlyk et al., 2022]. Для изучения ФЭ и сопутствующих явлений коллективом ИЗМИРАН разработана и поддерживается база данных, известная как FEID (Forbush Effects and Interplanetary Disturbances). С помощью этого инструмента уже были написаны десятки статей, однако недавно для базы данных был разработан новый пользовательский интерфейс, доступный через сеть Интернет [<https://tools.izmiran.ru/feid>], что создаёт ещё больше возможностей для новых исследований и более широких коллабораций.

### КАТАЛОГ СОБЫТИЙ

Каталог событий составляется исследовательской группой в ручном режиме на основании данных из различных источников: списков SSC (Sudden Storm Commencement), каталогов корональных выбросов массы (КВМ) и КД, данных о солнечных вспышках, геомагнитной активности и т.д. В случае отсутствия регистрации SSC или межпланетной ударной волны, начало события определяется по резкому изменению параметров КЛ и межпланетной среды. Для исследования вариаций космических лучей используются часовые данные мировой сети нейтронных мониторов, обрабатываемые с помощью Метода Глобальной Съемки

(Global Survey Method, GSM) [Белов и др., 2018], а также Метода Кольца Станций [Абунина и др., 2020]. Для исследования поведения параметров межпланетной среды используются данные OMNI [<https://omniweb.gsfc.nasa.gov>].

На данный момент база данных FEID насчитывает более 8700 событий, из которых для 2500 имеется информация об источнике. Определение солнечных источников является ключевой задачей при изучении возмущений в космических лучах и солнечном ветре, так как природа этих возмущений может кардинально различаться в зависимости от источника [Мелкумян и др., 2023].

### ВОЗМОЖНОСТИ НОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Для каждого события в каталоге приводится набор основных параметров, включающих время начала, эффективную продолжительность ФЭ, тип начала, вид и описание солнечного источника, а также параметры солнечной вспышки, КВМ и магнитного облака, при наличии оных. Остальные параметры вычисляются из рядов данных КЛ и межпланетной среды, таких как, например: вариации плотности и компонент анизотропии потока КЛ, скорость солнечного ветра, межпланетное магнитное поле, индексы геомагнитной активности. Определяющим параметром каждого события является его величина (магнитуда), вычисляемая как разница между максимальной и минимальной вариацией потока КЛ, рассчитанного по GSM для частиц жесткостью 10 ГВ [Belov et al., 2001]. В каталоге представлены события с магнитудой от 0.1 % до 26 % (на правой панели рис. 1 можно видеть гистограмму распределения величин событий в базе

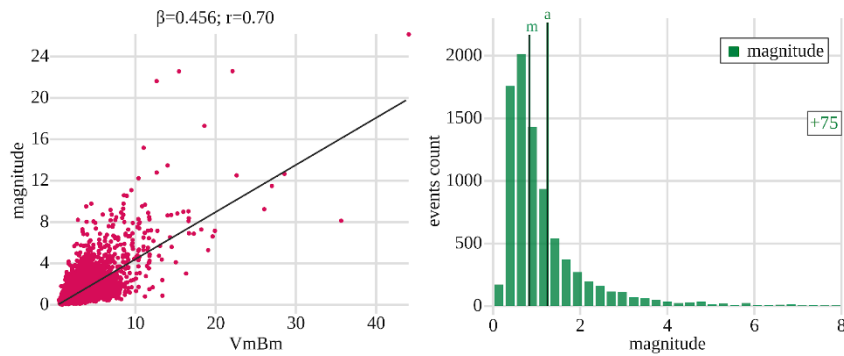


Рис. 1. Корреляция величины ФЭ с индексом возмущенности солнечного ветра (слева) и гистограмма распределения величин ФЭ (справа)

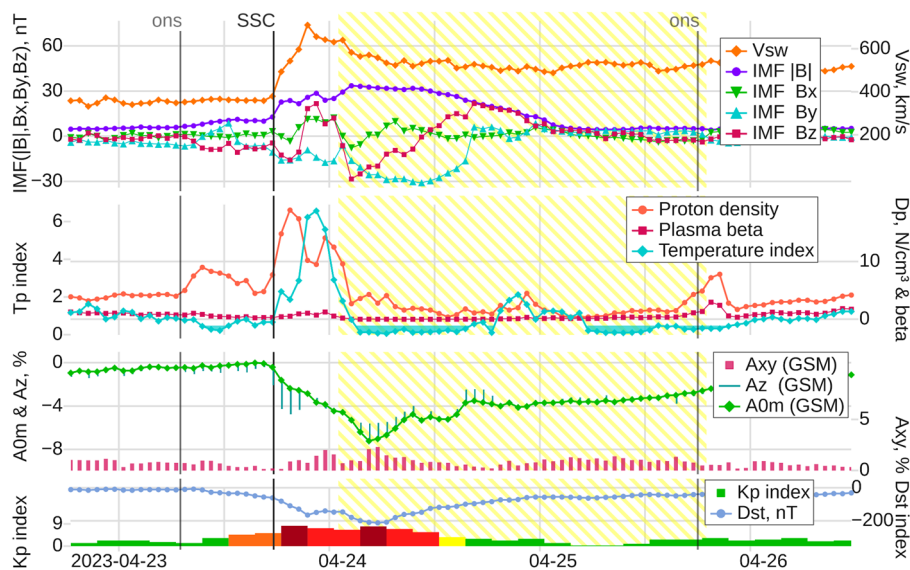


Рис. 2. Поведение параметров в событии 23 апреля 2023 г.

данных, а на левой — пример отображения корреляции между величинами). Существенной инновацией в новой версии FEID является то, что каждый пользователь может самостоятельно рассчитывать множество параметров событий, которые могут понадобиться в конкретной работе, например экстремумы параметров солнечного ветра внутри магнитного облака, временной интервал до предыдущего события и многое другое. Список событий с любым набором параметров доступен для экспорта. Важным инструментом является возможность делать выборки событий на основании различных параметров и проводить их сравнительный анализ.

Одной из основных особенностей программы является широкий спектр возможностей визуализации как поведения параметров КЛ и межпланетной среды в отдельных событиях, так и статистических особенностей выборок (например, рис. 1, а также метод наложения эпох и историческая динамика параметров). Предлагается возможность высоко настраиваемого экспорта рисунков для вставки в текст публикации, пользователь может изменять различные параметры самой картинки, оси, шрифт и его размер (с учетом размера картинки в тексте), все представленные цвета и не только. На рис. 2 представлен пример изображения, показывающего

поведение параметров КЛ и межпланетной среды в событии 23 апреля 2023 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описан новый интерфейс для работы с базой данных FEID, свободно доступный всем пользователям сети Интернет [<https://tools.izmiran.ru/feid>]. Этот инструмент предоставляет широкий спектр возможностей для анализа различных событий за длительный период с 1954 г. по настоящее время.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абунина М.А., Белов А.В., Ерошенко Е.А., Абуни А.А., Оленева В.А., Янке В.Г., Мелкумян А.А. Метод кольца станций в исследовании вариаций космических лучей: 1. Общее описание // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. Т. 60, № 1. С. 41–48.
- Белов А.В., Ерошенко Е.А., Янке В.Г., Оленева В.А., Абунина М.А., Абуни А.А. Метод глобальной съемки для мировой сети нейтронных мониторов // Геомагнетизм и аэрономия. 2018. Т. 58, № 3. С. 374–389.
- Мелкумян А.А., Белов А.В., Абунина М.А., Шлык Н.С., Абуни А.А., Оленева В.А., Янке В.Г. Форбуш-понижения, связанные с корональными дырами, корональными выбросами из активных областей и волоконными

выбросами: сравнение в солнечных циклах 23 и 24 // Геомагнетизм и Аэрономия. 2023. Т. 63, № 5. С. 581–598.

Belov A.V., Eroshenko E.A., Oleneva V.A., Struminsky A.B., Yanke V.G. What determines the magnitude of Forbush decreases? // Adv. Space Res. 2001. V. 27, N 3. P. 625–630.

Belov A.V. Forbush effects and their connection with solar, interplanetary and geomagnetic phenomena / Proc. IAU Symposium. 2009. V. 257. P. 439–450.

Shlyk N.S., Belov A.V., Abunina M.A., Abunin A.A., Oleneva V.A., Yanke V.G. Forbush decreases caused by paired interacting solar wind disturbances // MNRAS. 2022. V. 511, N 4. P. 5897–5908.

URL: <https://tools.izmiran.ru/feid> (дата обращения 10.05.2024)

URL: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov> (дата обращения 10.05.2024)