ВОЗМОЖНОСТИ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ И МЕЖПЛАНЕТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

**Абунин А.А.^{1,2}, Абунина М.А.¹, Белов А.В.¹, Гайдаш С.П.¹,
Ерошенко Е.А.¹, Прямушкина И.И.³, Янке В.Г.¹**

¹ИЗМИРАН, г. Москва, Россия

²КалмГУ, г. Элиста, Россия

³ГАПОУ БНК, г. Бугуруслан, Россия

DATABASE CAPABILITIES FOR STUDYING FORBUSH EFFECTS AND INTERPLANETARY DISTURBANCES

**Abunin A.A.^{1,2}, Abunina M.A.¹, Belov A.V.¹, Gaidash S.P.¹,
Eroshenko E.A.¹, Pryamushkina I.I.³, Yanke V.G.¹**

¹IZMIRAN, Moscow, Russia

²KalmSU, Elista, Russia

³GAPOY BNK, Buguruslan, Russia

For a comprehensive study of Forbush effects and their relationship to solar, interplanetary and geomagnetic disturbances, IZMIRAN researchers created (and continuously replenishes) a unique database of transient phenomena in cosmic rays and the interplanetary environment. Here the density and anisotropy of cosmic ray variations are combined with solar, interplanetary and geomagnetic parameters. The database includes a large number of different characteristics for ~7500 events, covering more than half a century of observations (1957–2017). In the work presented, some of the features of this tool are demonstrated.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-23-26

Одной из актуальных фундаментальных и прикладных задач солнечно-земной физики является заблаговременное прогнозирование параметров космической погоды (КП) и оценка ее влияния на различные природные, технологические и биологические системы, находящиеся как на Земле или в околоземном пространстве, так и в любой точке солнечной системы [1]. Само состояние КП определяется, прежде всего, солнечной активностью. Именно Солнце отвечает за создание рекуррентных и спорадических возмущений межпланетной среды. Воздействию от таких возмущений наиболее подвержены объекты, находящиеся в околоземном космическом пространстве – там, где практически отсутствует (или отсутствует вовсе) атмосфера и ослаблено геомагнитное поле. Во время таких возмущений на космических объектах может наблюдаться ряд проблем, например: выход из строя радиоэлектронной аппаратуры КА из-за накопления поверхностного и объемного заряда; одиночные сбои в радиоэлектронике КА из-за поражения высокоэнергичными частицами солнечного и галактического происхождения [2]; нарушения в работе оптических, магнитных и других датчиков, вызывающие отказ в выполнении заданных функций; ухудшение

и потеря связи (на любых частотах); существенное увеличение погрешности систем GPS и ГЛОНАСС; изменение баллистических характеристик орбит из-за нагрева верхней атмосферы и повышения ее плотности и, как следствие, потеря высоты и нарушение ориентации, непредсказуемое сближение и возможность столкновения с другими КО и элементами космического мусора, возможность несанкционированного неуправляемого схода с орбиты; радиационное воздействие на космонавтов и т.д.

Более того, помимо космического сегмента, КП влияет и на объекты земного базирования, например: ухудшение и потеря связи между наземными пунктами и управляемыми аппаратами космического комплекса [3]; поражение объектов наземной инфраструктуры при падении на Землю элементов космического мусора; появление наведенных токов в протяженных проводниках, способных стать причиной аварий в электросетях, подводных кабелях, трубопроводах и в системах автоматики железных дорог [4]; радиационное воздействие на экипажи и пассажиров авиарейсов; сбои в системах связи и аппаратуры авионики и т.д.

Следует особо подчеркнуть, что тенденции усиления зависимости жизнедеятельности человека от современных космических технологий, а также миниатюризация компьютерной техники ведут только к росту рисков от воздействия космической погоды. Таким образом, очевидно, что влияние КП на нашу повседневную жизнь нельзя недооценивать. Это воздействие необходимо уметь качественно прогнозировать, а затем учитывать, используя ранее полученный опыт.

По большому счету, прогнозирование состояния КП сводится к прогнозированию солнечной и геомагнитной активности, а также потоков различных частиц (галактических и солнечных космических лучей (КЛ), релятивистских электронов магнитосферного происхождения и т.д.). Модель прогнозирования того или иного параметра можно построить, используя разные подходы. Например, можно получить результат теоретически, путем решения сложных систем уравнений, описывающих солнечную активность, перенос и трансформацию соответствующего возмущения в межпланетном пространстве. Но такой путь является очень трудным и, зачастую, из-за сложности общей картины взаимодействий невыполнимым даже в самых простых случаях.

Другим, более простым путем является получение взаимосвязей между различными параметрами, характеризующими космическую погоду на основе статистического, сравнительного или регрессионного анализа. Примеры как раз таких исследований, на основе анализа большого количества событий, будут рассматриваться далее.

Данные и методы

Для всестороннего изучения солнечных, межпланетных и геомагнитных возмущений сотрудниками ИЗМИРАН была создана и непрерывно

пополняется уникальная база данных транзиентных явлений в КЛ и межпланетной среде (*FEID*) [5–8]. В ней вариации плотности и анизотропии ГКЛ объединены с солнечными, межпланетными и геомагнитными параметрами. Именно ГКЛ взяты за основу данного инструмента. Поток этих ультраэнергичных частиц, пронизывая межпланетное пространство, модулируется, интегрируя информацию о магнитных неоднородностях и местах, через которых пролетают. В базе данных КЛ представлены результатами глобальной съемки по данным всей мировой сети нейтронных мониторов для жесткости 10 ГВ. Информация по солнечному ветру взята из базы данных *OMNI*, а данные по геомагнитной активности из *WDC Kyoto* и *GFZ Potsdam*.

На текущий момент *FEID* включает в себя около 7500 событий, охватывающих более чем полувековой период наблюдений (1957–2017 гг.), каждое из которых описывается более сотней параметров. Можно с уверенностью сказать, что это самая большая и полная база данных межпланетных возмущений в мире. На основе этой базы данных был разработан и выложен в сеть Интернет каталог с аналогичной информацией (<http://spaceweather.izmiran.ru/rus/dbs.html>).

Примеры использования информации из *FEID*

FEID не только содержит в себе информацию о межпланетных возмущениях, но и является удобным инструментом для ее обработки, позволяя выполнять различного рода анализ этих данных (статистический, сравнительный, регрессионный и т.д.). В научной среде можно найти множество публикаций и диссертаций, которые опираются на информацию о межпланетных возмущениях, взятую именно из этой базы данных. Далее приведены несколько примеров использования *FEID*.

В работе [8] анализировались события с внезапным и постепенным началами (всего 3455 событий). В ходе анализа было выявлено, что группа событий с внезапным началом отличается от группы с постепенным началом не только количественно, но и качественно. Полученные результаты говорят в пользу того, что в выделенных группах преобладают разные механизмы модуляции космических лучей. А точнее, события в первой группе в большей мере обусловлены выбросами солнечного вещества, в то время как значительная часть событий второй группы – высокоскоростными потоками плазмы из корональных дыр.

В работе [9] изучалась связь параметров возмущений с гелиодолготой солнечного источника. Было проанализировано 334 события из базы данных *FEID*, уверенно отождествленных с соответствующим солнечным источником. Все события были поделены на пять секторов. В ходе анализа было показано, что эффективность создания ФЭ и ГМБ у источников с различной гелиодолготой различна. Кроме того, было установлено, что, в зависимости от гелиодолготы источника возмущения межпланетной сре-

ды, поведение анизотропии ГКЛ существенно отличается. Таким образом, имея информацию только о КЛ и умея её правильно интерпретировать, можно судить о состоянии межпланетной среды.

Заключение

Анализ большого количества событий позволяет получать статистические зависимости между различными параметрами, характеризующими состояние космической погоды. Это, в свою очередь, позволяет с определенной долей вероятности оценивать влияние космической погоды на объекты космического и наземного базирования. Созданная сотрудниками ИЗМИРАН база за данных транзиентных явлений в космических лучах и межпланетной среде не является единственной разработкой данной группы ученых. Существует еще ряд баз данных, которые охватывают большой временной интервал и содержат множество параметров: геомагнитных возмущений (1868–2018), солнечной активности (1975–2018), вариаций космических лучей (1957–2018), корональных выбросов масс (1996–2018), корональных дыр и т.д.

Используя представленные базы данных, получены статистические закономерности, которые входят в основу разработанных моделей для реализации краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов по каждому из направлений космической погоды. Непрерывное пополнение свежей информацией и своевременный перерасчет зависимостей между параметрами позволяет всегда держать базы и модели в актуальном состоянии. А сам результат такого анализа используется в ежедневной работе Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН для обеспечения своих потребителей необходимой информацией уже 20 лет, начиная с 1998 года.

Благодарности. Работа выполнена с использованием оборудования УНУ «Сеть СКЛ». Работа частично поддержана в рамках грантов РФФИ №17-02-00508 и РНФ №15-12-20001. Мы также признательны всем сотрудникам сети станций КЛ <http://cr0.izmiran.ru/ThankYou>.

Литература

1. Gaidash S.P. et al. // G&A, 2017, 57, №7, P. 869-876.
2. Белов А.В. и др. // ГиА, 2004, 44, №4, С. 502-510.
3. Eroshenko E. et al. // Adv. Space Res., 2010, 46, №9, P. 1102-1110.
4. Belov A.V. et al. / Proc. 25th ICRC, 1997, 1. P. 437-440.
5. Belov A.V. et al. / Proc. 26th ICRC, 1999, 6, P. 472-475.
6. Абунин А.А., 2014, Диссертация, 155 с.
7. Belov A. et al. // VarSITI Newsletter, 2017, 14, P. 8-10.
8. Абунин А.А. и др. // ГиА, 2012, 52, № 3, С. 313-320.
9. Абунина М.А. и др. // ГиА, 53, 2013, № 1, С. 13-22.