

УДК 523.98:524-52:523.9

СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ БАЗ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ КАТАЛОГА СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ 23-го ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

© 2017 г. В. Н. Ишков^{1, *}, Л. П. Забаринская^{2, **}, Н. А. Сергеева^{2, ***}

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк, Россия

²Геофизический центр РАН, г. Москва, Россия

*e-mail: ishkov@izmiran.ru

**e-mail: mila@wpcb.ru

***e-mail: nata@wpcb.ru

Поступила в редакцию 16.03.2017 г.

Развитие исследований солнечных источников и их воздействий на состояние околоземного космического пространства потребовало систематизации соответствующей информации в виде баз данных и каталогов за все время наблюдений какого-либо геоэффективного явления, включающего в себя, по возможности на момент создания, все характеристики самих явлений и источников данных явлений на Солнце. Особое значение имеет однородное представление информации в виде серии однотипных каталогов, охватывающих продолжительные временные интервалы. Большой объем информации, собранный в таких каталогах, делает необходимым использование современных методов ее организации и оформления, обеспечивающих возможность перехода между отдельными частями каталога и быстрый поиск нужных событий и их характеристик, что и сделано в представляемом Каталоге солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности из последовательности каталогов (6 отдельных выпусков), которые охватывают период с 1970 по 2009 гг. (20–23-й циклы солнечной активности).

DOI: 10.7868/S0016794017060049

1. ВВЕДЕНИЕ

Большой объем результатов изучения солнечных активных явлений в эру космических исследований потребовал систематизации данных о вспышках солнечных космических лучей, выявления источников и изучения последствий воздействия активных процессов на Солнце на околоземное космическое пространство. Особое значение имеет однородное представление информации о солнечных протонных событиях (СПС).

Эту задачу рационально решать созданием серии однотипных каталогов, охватывающих продолжительные временные интервалы. Представляемая последовательность каталогов – 6 отдельных выпусков [Акиньян и др., 1982; Базилевская и др., 1986, 1990а, б; Сладкова и др., 1998; Логачев и др., 2016], уже охватывает период с 1970 по 2009 гг. (20–23-й циклы солнечной активности) и будет продолжена на 24-й цикл и, надеемся, все последующие циклы.

В Каталогах собраны и систематизированы данные о СПС с генерацией протонов, для кото-

рых максимальный поток протонов с энергией $E_p > 10$ МэВ превышал значение $J_p \geq 1 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ ср}^{-1}$ (pfu). Как показал опыт, выбор такого порога по энергии и числу регистрируемых частиц обеспечивает надежное отождествление источников протонных возрастаний на Солнце с достаточно точным определением времени начала прихода частиц в точку регистрации и позволяет более точно определять исходное вспыхивающее событие, с которого начинается генерация солнечных протонов в активной области Солнца, особенно в событиях со сложным профилем. Пороговые значения с большими энергиями и потоками протонов резко уменьшают статистическую базу событий, уменьшение энергии и пороговых потоков протонов затрудняют отождествления источников из-за вклада в потоки протонов несолнечных процессов (ускорение в межпланетном пространстве).

Во всех выпущенных Каталогах принята одинаковая основа представления информации, которая была предложена в первом Каталоге, выпу-

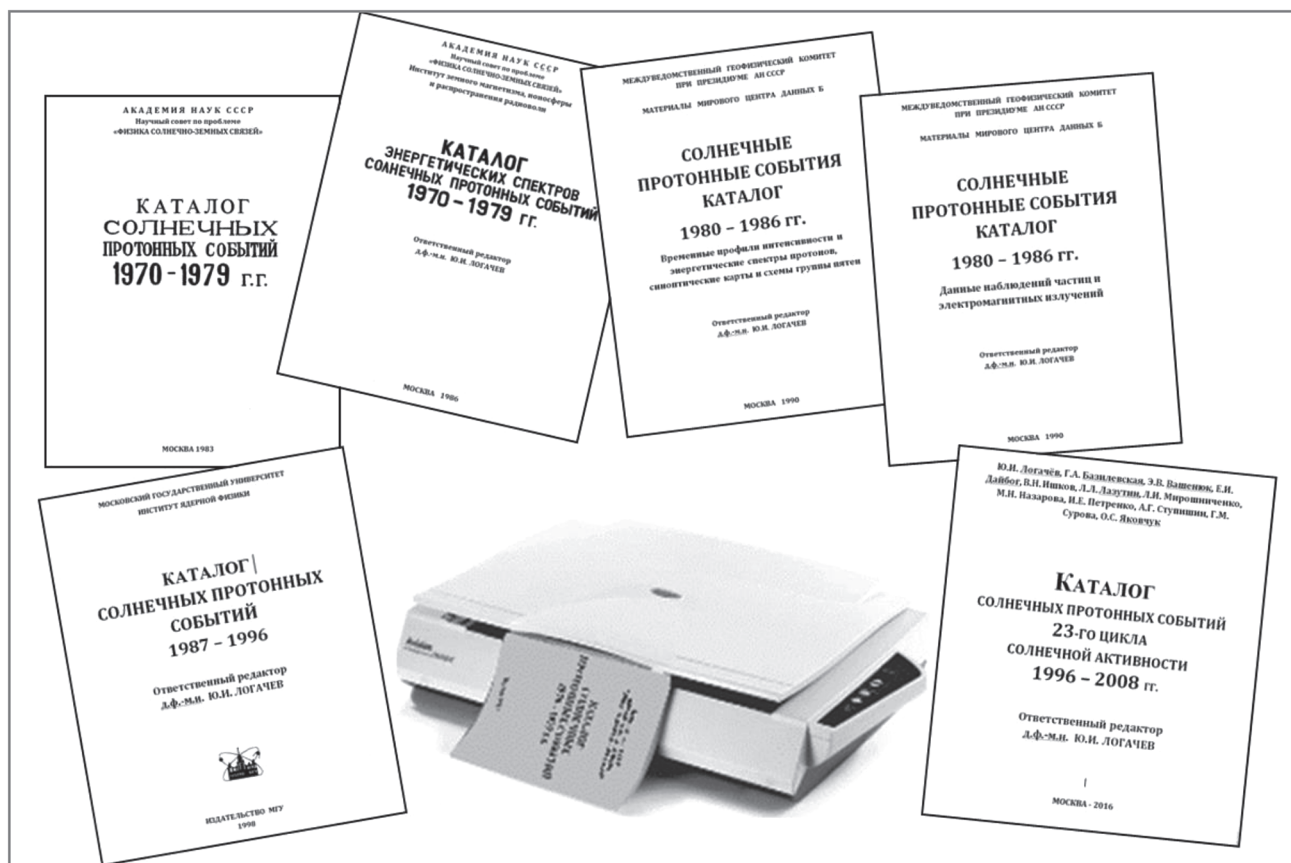


Рис. 1. Серия из 6 отдельных Каталогов солнечных протонных событий, охватывающих период с 1970 по 2008 гг. (20–23-го циклы солнечной активности), доступных в электронном виде на сайте Мирового центра данных по солнечно-земной физике.

ценном международной командой [Dodson et al., 1975]. Информация о СПС расширялась от выпуска к выпуску, что неотвратимо из-за получаемых более полных и разнообразных данных о солнечных космических лучах, большего числа космических аппаратов и более совершенной исследовательской аппаратуры.

Вся серия описываемых в настоящей статье Каталогов СПС (рис. 1), начиная с 1970 г., подготовлена представителями ряда научных учреждений СССР (в основном, России), ориентированных на исследование солнечно-земных связей, что позволило всесторонне охватить проблему в целом и каждое событие в частности. Ввиду малого тиража и труднодоступности для исследователей все вышедшие тома Каталогов были переведены в электронный вид (формат.pdf) с использованием современного оборудования – специализированного книжного сканера, и программного обеспечения ScanSoft PaperPort в Мировом центре данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ)

в Москве и находятся в открытом доступе на вебсайте МЦД http://www.wdcb.ru/stp/online_data.ru.html#ref113_r

В Каталогах использованы измерения потоков частиц, проведенные на космических аппаратах, на шарах-зондах, с помощью наземных нейтронных мониторов и по ионосферному поглощению космического радиоизлучения в полярных шапках Земли. Процессы на Солнце оценивались по излучению в оптическом, рентгеновском и радиодиапазонах электромагнитного спектра, сопровождающего солнечные вспышечные события.

Информация, представленная во всех уже вышедших Каталогах, бралась из открытых источников, основными из которых являлись оригинальные данные мониторинга космического пространства, а также периодические издания “Solar Geophysical Data” (Солнечные геофизические данные) и “Солнечные данные” [1970–1986 гг.].

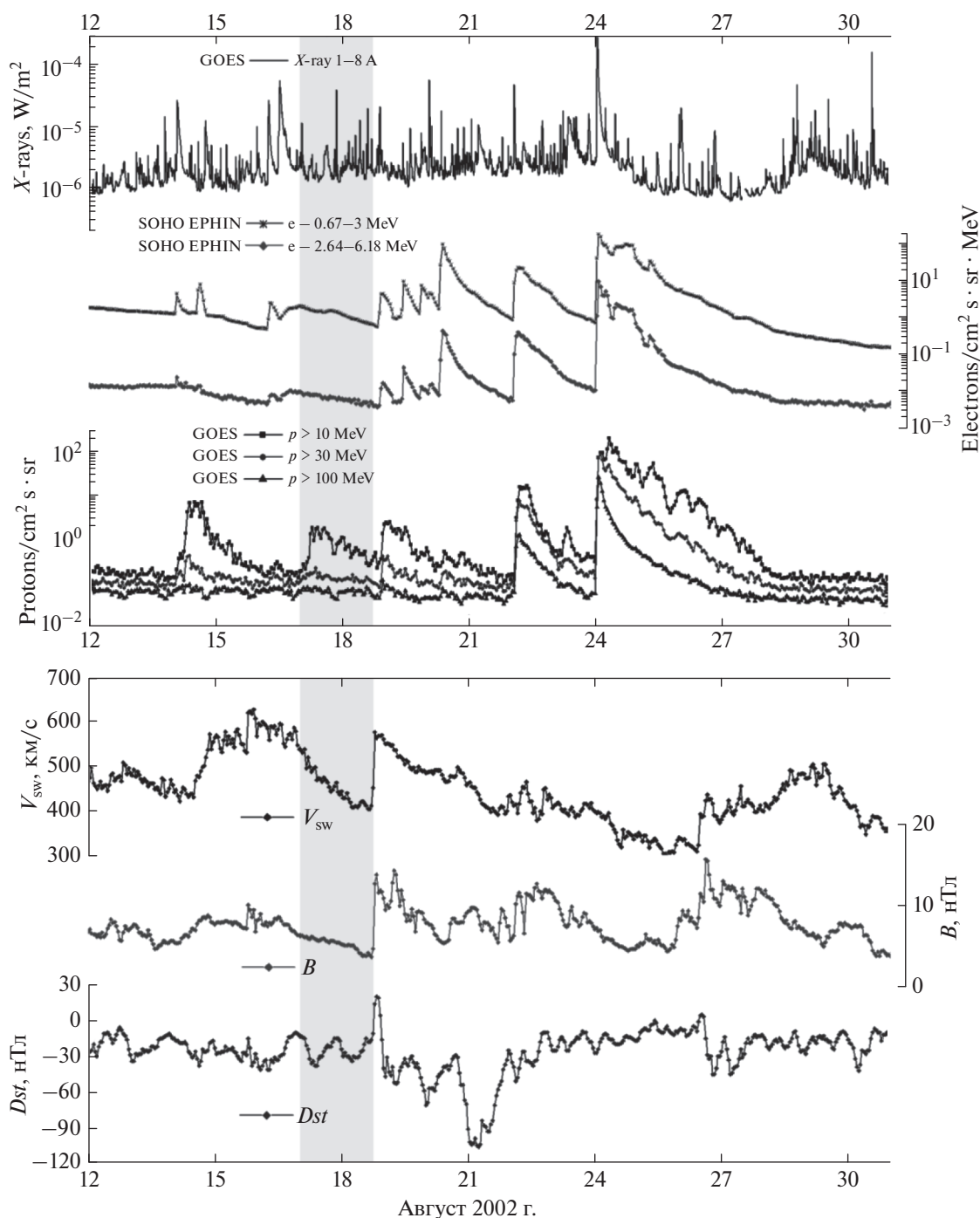


Рис. 2. Пример обзорных графиков, отражающих ситуацию на Солнце и в околоземном пространстве во временном интервале, охватывающем описываемое событие: рентгеновского излучения, потоков электронов и протонов, скорости солнечного ветра, напряженности межпланетного магнитного поля и *Dst*-вариаций. Период, относящийся к данному событию, выделен легкой затуманкой.

2. КАТАЛОГ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ 23-го СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Последний Каталог [Логачев и др., 2016] содержит данные о СПС 1996–2008 гг. Таких событий в 23-м цикле солнечной активности оказалось

142. Кроме данных о потоках протонов, измеренных несколькими космическими аппаратами, в Каталоге приведены сведения об источниках частиц и о связанном с данным событием электромагнитном излучении во всем доступном наблю-

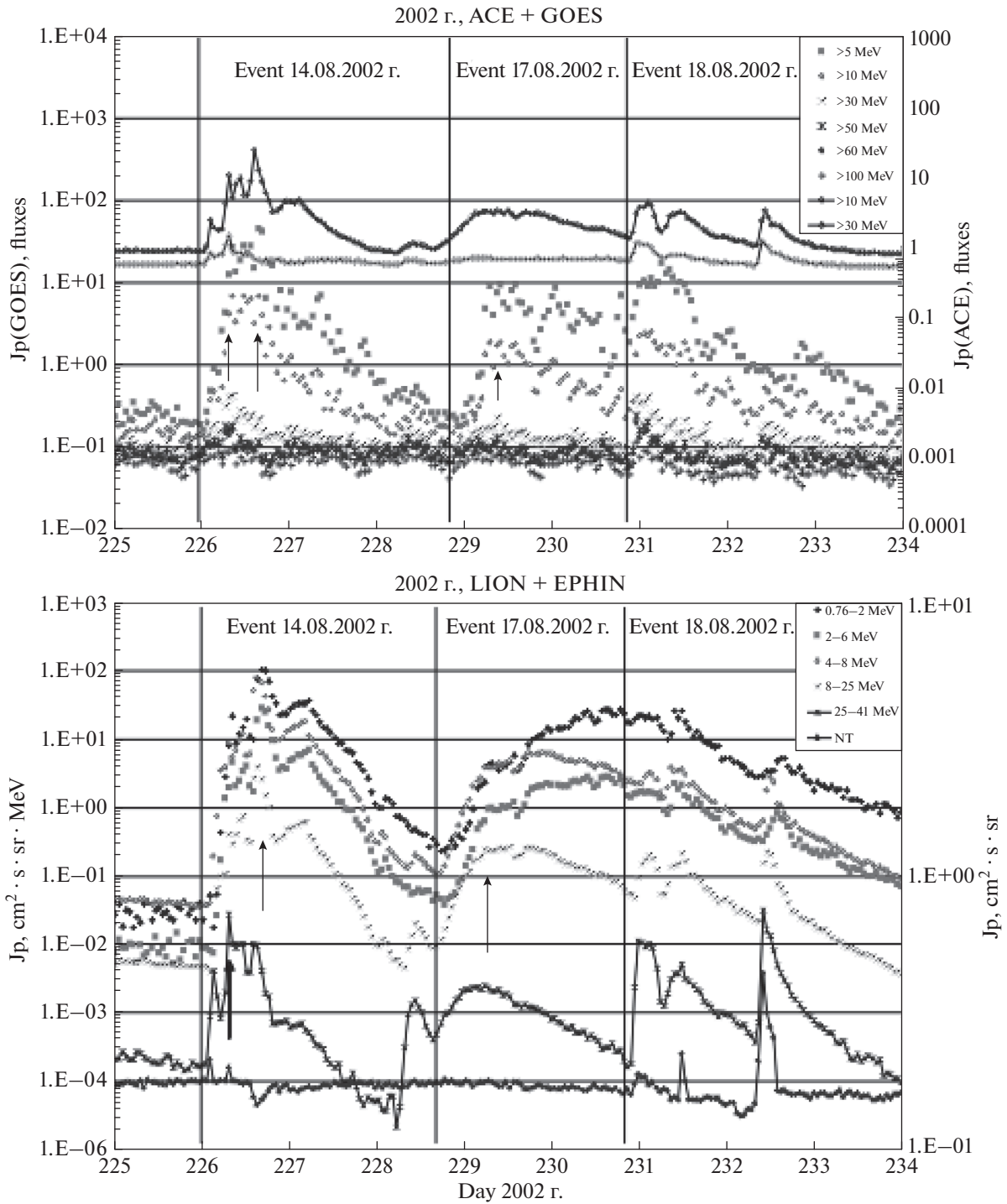


Рис. 3. Временные профили потоков протонов, зарегистрированные космическими аппаратами: сверху – ACE и GOES, внизу – SOHO (потоки в интервалах энергий).

дениям диапазоне. Для каждого события приведен интегральный энергетический спектр зарегистрированных протонов в максимуме временного профиля интенсивности. Копии оригинальных страниц Каталога с примерами профилей событий и иллюстраций приведены на рис. 2–5.

В отличие от предыдущих Каталогов каждое событие теперь иллюстрируется обзорными графиками рентгеновского излучения, потоков электронов и протонов, скорости солнечного ветра, напряженности межпланетного магнитного поля и *Dst*-вариаций в околоземном космическом

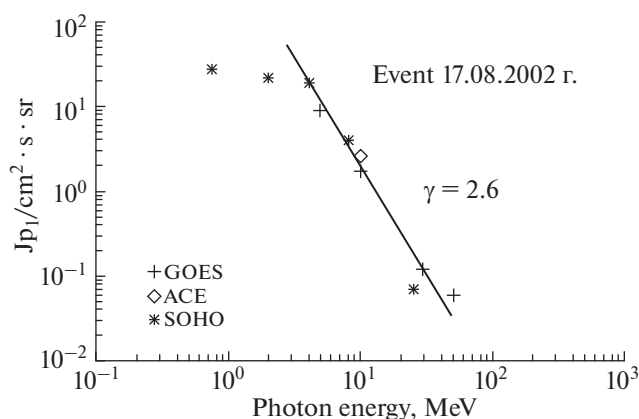


Рис. 4. Интегральный энергетический спектр протонов в максимуме временного профиля интенсивности для события 17.08.2002 г.

пространстве во временном интервале, охватывающем данное событие (рис. 2). Это позволяет знать всю гелиогеофизическую обстановку во всем временном интервале осуществления СПС.

После обзорной картины событий представлены временные профили потоков протонов более крупным планом, чем в обзорных графиках, и для большего числа аппаратов и энергий протонов (рис. 3). На верхнем блоке даны потоки протонов, зарегистрированные космическими аппаратами ACE и GOES (интегральные потоки), на нижнем — на SOHO (потоки в интервалах энергий). Эти аппараты в те годы наиболее полно отражали ситуацию как на геостационарной орбите в магнитосфере Земли (GOES), так и в точке либрации $L1$ (ACE и SOHO) перед, во время и после прихода солнечных протонов. За временными профилями потоков протонов для данного события располагаются графики интегральных энергетических спектров протонов в максимуме (максимумах) событий (рис. 4). Интегральные спектры строились по максимальным потокам протонов всех энергий, зарегистрированных в данном событии. Потоки протонов, регистрировавшиеся в ограниченных интервалах энергии, пересчитывались в интегральные. Если в событии выделено два-три максимума, то спектры строились для каждого максимума.

После обзорных графиков и энергетических спектров протонов расположены таблицы потоков протонов по данному событию. В таблицах приведены значения потоков протонов разных энергий в максимуме события (в нескольких максимумах), зарегистрированные различными космическими аппаратами. Длительность события измеряется в сутках. Отметим, что этот параметр

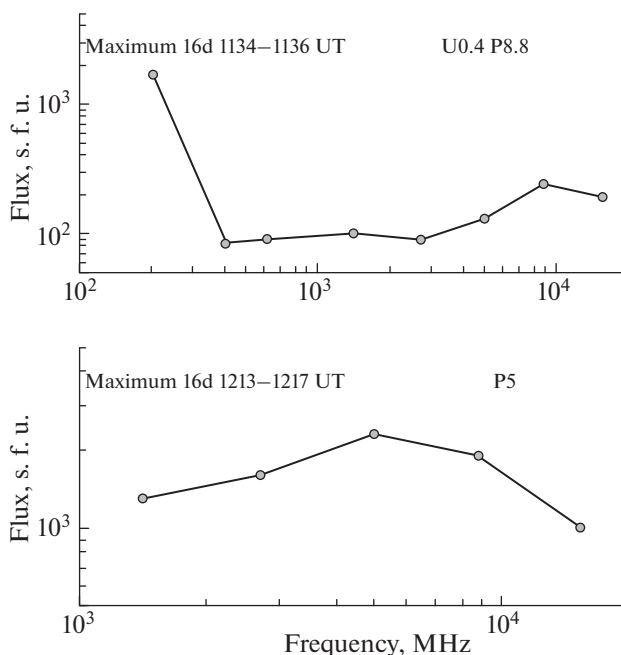


Рис. 5. Пример график спектров радиоизлучения на волнах дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн. Эти спектры дают возможность оценить и, возможно, выявить закономерности, характерные для вспышечных событий — источников солнечных протонных событий.

испытывает наибольшие вариации как от прибора к прибору, так и для разных энергий протонов. Точность измерений здесь не хуже ± 1 суток.

Далее представлены материалы по наблюдаемым солнечным вспышечным явлениям, источникам данного протонного события с указанием степени их достоверности. Параметры и характеристики данного вспышечного события сведены в таблицу с цифровыми значениями. Информация в таблицах Каталога организована по блокам, включающим все реально наблюдавшиеся диапазоны электромагнитного излучения (оптика, мягкое, жесткое рентгеновское, γ и радио), солнечные нейтроны, динамические явления, наблюдавшиеся в линии $H\alpha$ и в непрерывном спектре (WL — в “белом” свете), в том числе и основные характеристики коронального выброса вещества в данном вспышечном событии.

После таблиц приведены графики спектров радиоизлучения на волнах дециметрового и сантиметрового диапазона длин волн (рис. 5). Этот спектр дает возможность оценить и, возможно, выявить закономерности характерные для вспышечных событий — источников солнечных протонных событий.



Рис. 6. Схема “линков”, обеспечивающих возможность перехода между отдельными частями Каталога и быстрый поиск нужных событий и их характеристик.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ОФОРМЛЕНИЕ КАТАЛОГА СПС ЗА 23-Й СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ

Большой объем информации, собранной в последнем Каталоге 23-го цикла солнечной активности [Логачёв и др., 2016], потребовал использования современных методов ее организации и оформления. Было использовано программное обеспечение Adobe Acrobat Professional для создания системы “линков”, обеспечивающих возможность перехода между отдельными частями Каталога и быстрый поиск нужных событий и их характеристик.

Так со страницы “Содержание” можно перейти к любому разделу Каталога – к текстам и к данным. Из каждого раздела с текстом с любой страницы можно вернуться к “Содержанию”. От “Содержания” можно перейти к списку событий за любой год, от которого есть возможность перейти к данным для любого протонного события за этот год, либо вернуться к “Содержанию”. С любой страницы, относящейся к данным, обеспечен возврат к списку событий за год (рис. 6).

Всем шести Каталогам солнечных протонных событий за 1970–2008 гг., опубликованных на вебсайте МЦД по СЗФ, присвоены цифровые идентификаторы объекта DOI (Digital Object Identifier), зарегистрированные в системе CrossRef, предоставляющие возможность цитирования данных в научных публикациях (рис. 7). Это сделано в ГЦ РАН в рамках выполнения проекта

“База данных по наукам о Земле” – ESDB (Earth Science DataBase) по созданию современной системы регистрации, публикации и цитирования геофизических данных с присвоением цифрового идентификатора объекта DOI, предназначенного для идентификации интеллектуальной собственности в виртуальной среде. Главной целью проекта является повышение значимости и доступности геофизических данных для научных исследований, облегчение процесса их поиска, идентификации и публикации, а также развитие культуры цитирования данных так же, как и другие научно-исследовательские источники информации (журналы, статьи, книги и т.п.).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все выпуски наших Каталогов составлены по той же схеме, что и Каталог [Dodson et al., 1975] и все вместе составляют ряд однородных данных по возрастаниям солнечных космических лучей. Они создавались с целью сбора, систематизации и однородного представления информации обо всех зарегистрированных СПС и могут быть использованы как справочник по СПС, солнечным вспышечным событиям – источникам СПС, а также по активным областям, в которых образовались условия осуществления протонных вспышек. Каталоги рассчитаны на широкий круг специалистов, работающих в области солнечно-земной физики, как изучающих солнечные активные явления, так и специалистов по радиационной



Earth Science DataBase
GEOPHYSICAL CENTER RAS



Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996–2008 гг.)

*Ю.И. Логачёв, Г.А. Базилевская, Э.В. Вашенюк, Е.И. Дайбог, В.Н. Ишков, Л.Л. Лазутин, Л.И. Мирошниченко, М.Н. Назарова, И.Е. Петренко, А.Г. Ступишин, Г.М. Сурова, О.С. Яковчук*¹

Редактор: *Ю.И. Логачёв*

Аннотация

Настоящий Каталог является продолжением Каталогов предыдущих пяти выпусков, содержащих данные о солнечных протонных событиях (СПС) начиная с 1970 г. В Каталоге собраны и систематизированы данные о СПС с генерацией протонов, для которых максимальный поток протонов с энергией $E_p > 10$ МэВ превышал значение $J_p \geq 1 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ (pfu). Таких событий в 23-м цикле солнечной активности оказалось 142. Кроме данных о потоках протонов, измеренных несколькими космическими аппаратами, в Каталоге приведены сведения об источниках частиц и о связанном с данным событием электромагнитном излучении во всём доступном наблюдениям диапазоне. Для каждого события приведен интегральный энергетический спектр зарегистрированных протонов в максимуме временного профиля интенсивности. В отличие от предыдущих Каталогов каждое событие теперь иллюстрируется обзорными графиками рентгеновского излучения, потоков электронов и протонов, скорости солнечного ветра, напряженности межпланетного магнитного поля и Dst-вариаций в околоземном космическом пространстве во временном интервале, охватывающем данное событие.

Данные хранятся в Мировом центре данных по солнечно-земной физике, Москва (<http://www.wdcb.ru/stp/index.en.html>). Данные находятся в свободном доступе.

URL: http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_23_cycle_SA.ru.pdf

doi: [10.2205/ESDB-SAD-P-001-RU](https://doi.org/10.2205/ESDB-SAD-P-001-RU)

Цитирование: Логачёв Ю. И., Г. А. Базилевская, Э. В. Вашенюк, Е. И. Дайбог, В. Н. Ишков, Л. Л. Лазутин, Л. И. Мирошниченко, М. Н. Назарова, И. Е. Петренко, А. Г. Ступишин, Г. М. Сурова, О. С. Яковчук. Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996–2008 гг.). *ESDBrepository, ГЦ РАН, Москва*, doi: 10.2205/ESDB-SAD-P-001-RU.

URL for downloading:

http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_23_cycle_SA.ru.pdf,

http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_23_cycle_SA.pdf (Англоязычная версия)

Рис. 7. Страница отклика (response page) для Каталога, размещенная в центральной репозитории ESDB <http://esdb.wdcb.ru/>. Страницы отклика содержат подробное описание данных, идентификатор DOI, адрес URL нахождения данных и образец цитирования данных.

безопасности космических полетов и исследователей, интересующихся проблемами воздействия солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. Опыт работы с ранее выпущенными Каталогами показал, что они очень полезны для различных статистических исследований энергичных солнечных частиц, поиска закономерностей в их спектральных характеристиках, для изучения физических процессов, связанных с ускорением и распространением солнечных частиц. Сведения об энергетических спектрах необходимы при оценке и прогнозировании радиационной обстановки во внутренней гелиосфере. Данные Ката-

лога СПС 23-го цикла солнечной активности будут полезны при изучении проникновения частиц в магнитосферу Земли, при исследовании некоторых геофизических явлений, таких как поглощение космического радиоизлучения в полярной шапке, а также для прогнозирования условий распространения радиоволн и решения других вопросов в рамках общей проблемы солнечно-земных связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

— Акиньян С.Т., Базилевская Г.А., Ишков В.Н. и др. Каталог солнечных протонных событий. 1970–1979 гг.

- Ред. Логачев Ю.И. М.: ИЗМИРАН, 184 с. 1982. doi 10.2205/ESDB-SAD-P. http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_1970-1979.pdf.
- *Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В., Ишков В.Н. и др.* Каталог энергетических спектров солнечных протонных событий 1970–1979 гг. Ред. Логачев Ю.И. М.: ИЗМИРАН, 236 с. 1986. doi 10.2205/ESDB-SAD-P. [http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_1970-1979_\(SPECTRA\).pdf](http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_1970-1979_(SPECTRA).pdf).
- *Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В., Ишков В.Н. и др.* Солнечные протонные события. Каталог, 1980–1986 гг. Данные наблюдений частиц и электромагнитных излучений. Ред. Логачев Ю.И. М.: МГК АН СССР, 160 с. 1990а. doi 10.2205/ESDB-SAD-P. [http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_1980-1986_\(SPECTRA\).pdf](http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_1980-1986_(SPECTRA).pdf).
- *Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В., Ишков В.Н. и др.* Солнечные протонные события. Каталог, 1980–1986 гг. Временные профили интенсивности и энергетические спектры протонов, синоптические карты и схемы групп пятен. Ред. Логачев Ю.И. М.: МГК АН СССР, 204 с. 1990б. doi 10.2205/ESDB-SAD-P. http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_1980-1986.pdf.
- *Логачёв Ю.И., Базилевская Г.А., Ишков В.Н. и др.* Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996–2008 гг.). 2016, doi 10.2205/ESDB-SAD-P-001-RU. http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_23_cycle_SA.ru.pdf, (http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/Catalog_SPE_23_cycle_SA.pdf – англоязычная версия).
- *Сладкова А.И., Базилевская Г.А., Ишков В.Н., Назарова М.Н., Переяслова Н.К., Ступишин А.Г., Ульев В.А., Черток И.М.* Каталог солнечных протонных событий 1987 – 1996. Ред. Логачев Ю.И. М.: МГУ, 246 с. 1998. doi 10.2205/ESDB-SAD-P. http://www.wdcb.ru/stp/data/SPE/SPE_1987-1996.pdf.
- *Dodson H.W., Hedeman E.R., Kreplin R.W., Martres M.J., Obridko V.N., Shea M.A., Smart D.F., Tanaka H.* Catalog of solar particle events 1955–1969. Ed. Z. Švestka and P. Simon. Dordrecht, Holland, Boston-USA: Reidel Publ. Com, 430 p. 1975.