

УДК 537.591.5

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В МИРОВОМ ЦЕНТРЕ ДАННЫХ ПО СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКЕ

© 2019 г. Н. А. Сергеева^{1, *}, Л. П. Забаринская¹, В. Н. Ишков², Т. А. Крылова¹

¹ГЦ РАН, г. Москва, Россия

²ИЗМИРАН, г. Москва, Россия

*nata@wdcb.ru

Поступила в редакцию 04.04.2018 г.

После доработки 16.04.2018 г.

Принята к публикации 15.05.2018 г.

В настоящее время экспериментальные данные о солнечной активности находят самое широкое применение в области фундаментальных и прикладных научных исследований — изучении явлений, происходящих на Солнце и в межпланетном пространстве, и их влияния на процессы во внешних и внутренних оболочках Земли. Наиболее ценными являются данные многолетних наблюдений. Мировой центр данных по солнечно-земной физике в Москве обладает представительной коллекцией результатов наблюдений, полученных мировой сетью солнечных и астрономических обсерваторий и на приборах, установленных на космических аппаратах. В статье приводится описание данных о солнечной активности, находящихся в хранилище и опубликованных на веб-сайте Центра в открытом доступе. Центр постоянно совершенствуется, использует новые информационные технологии, обеспечивающие свободный, удобный доступ к данным и возможность цитирования данных, увеличивает информационные ресурсы, доступные в сети Интернет.

DOI: 10.1134/S0023420619010096

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные научные исследования основываются на комплексном анализе больших объемов данных из разных областей науки и на применении современных компьютерных методов обработки, анализа и интерпретации данных. Мировой центр данных по солнечно-земной физике в Москве (МЦД по СЗФ) обеспечивает свободный доступ к большим массивам данных, к длинным рядам наблюдений, к уникальной и представительной коллекции отечественных и зарубежных данных по солнечно-земной и космической физике, в том числе к результатам наблюдений за солнечной активностью и межпланетным магнитным полем.

Мировой центр данных по солнечно-земной физике был создан в 1956 г. Тогда началась подготовка к проведению крупнейшего научного проекта XX века — “Международного геофизического года” (МГГ), проходившего в 1957–1958 гг. В реализации проекта приняли участие ученые 67 стран мира. Для проведения планетарных геофизических исследований по программе проекта и достижения прогресса в наиболее перспективных областях геофизики были созданы планетарные сети наблюдательных станций — геомагнитных, ионосферных, сейсмологических, метеорологических и других. Одновременно была создана си-

стема Мировых центров данных (МЦД). По решению Международного совета научных союзов (МСНС) и Всемирной метеорологической организации (ВМО), по согласованию с правительствами ряда стран были созданы два универсальных центра МЦД А в США и МЦД Б в СССР, для сбора данных МГГ по всему комплексу наблюдений, и специализированные центры МЦД С в ряде стран, ориентированные на данные по одному из разделов программы МГГ. В состав МЦД Б входило несколько центров, одним из которых был МЦД по солнечно-земной физике в Москве.

Созданная система МЦД обеспечивала накопление данных, их долговременное гарантированное хранение и свободный доступ к данным ученых и исследователей. Центры осуществляли сбор данных и обмен ими в соответствии со специально разработанными правилами, сформулированными в “Руководстве по международному обмену данными через Мировые центры данных” [1]. Были определены конкретные виды наблюдений для сбора данных и формы представления данных. Периодически центры выпускали каталоги всех данных, находящихся в распоряжении МЦД [2].

После окончания МГГ система МЦД была сохранена для сбора, долговременного хранения и распространения данных, получаемых наблюда-

тельными сетями и в ходе выполнения геофизических проектов, таких как Международный год спокойного Солнца (1964–1965), Международный год активного Солнца (1969–1971), Международные исследования магнитосферы (1976–1979), Международный год солнечного максимума (1979–1981) и других международных программ и экспериментов. На протяжении более 60 лет результаты различных международных и национальных геофизических проектов и программ, результаты наблюдений на станциях и обсерваториях, судах, дрейфующих станциях, самолетах, спутниках и т.п. собираются и хранятся в Мировых центрах данных [3].

На 29-й Генеральной ассамблее Международного совета по науке в 2008 г. была принята резолюция о формировании новой структуры – Мировой системы данных (МСД) <http://www.icsu-wds.org/> с целью объединить все накопленные данные в единой структуре, разработать методы и технологии хранения данных, которые позволят обеспечить сохранность информации и доступ к данным для использования сейчас и в далеком будущем. Был осуществлен переход от множества обособленных МЦД и служб фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) к глобальной интероперабельной распределенной системе данных с развитыми взаимосвязями между отдельными дисциплинарными компонентами, с более широкой дисциплинарной и географической базой и с междисциплинарными приложениями для обработки данных. На сегодняшний день МСД включает более 70 регулярных членов. Создается Портал МСД, который сможет объединить информационные ресурсы всех членов Системы. С 2012 г. МЦД по СЗФ является регулярным членом Мировой системы данных, руководствуется основными принципами Конституции МСД и поддерживает Политику МСД в отношении данных [4].

В настоящее время в хранилищах МЦД по СЗФ находятся значительные объемы данных планетарной геофизики, полученные в нашей стране и за рубежом, внедрены современные технологии управления данными и обеспечения доступа к ним. Центр предоставляет данные институтам, организациям и специалистам для фундаментальных и прикладных научных исследований и учебным заведениям для образовательных целей без каких-либо ограничений и бесплатно. На веб-сайте МЦД по СЗФ <http://www.wdcb.ru/stp/index.ru.html> представлены сведения о Центре, информация для пользователей, каталоги наличия данных и реализован свободный on-line доступ к данным.

МЦД по СЗФ обладает архивом исторических и современных результатов глобальных наблюдений, в котором представлены данные о магнитосфере Земли (результаты измерений полей и частиц в магнитосфере; записи вариаций геомаг-

нитного поля; таблицы среднечасовых значений и индексы геомагнитной активности), об ионосфере Земли (результаты радиозондирования ионосферы с поверхности Земли и со спутников; данные о поглощении радиоволн ионосферой, о ее структурных характеристиках; результаты измерений радишумов), о космических лучах (данные о солнечных и галактических протонах, нейтронах, мезонах; данные нейтронных мониторов, мезонных телескопов и ионизационных камер). В отдельном разделе представлены данные о солнечной активности и межпланетном магнитном поле.

2. ДАННЫЕ О СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Фонды МЦД по СЗФ содержат исторические данные наблюдений мировой сети солнечных и астрономических обсерваторий за явлениями на Солнце, охватывающие период с 1957 г. по начало 90-х гг., хранящиеся в виде бумажных документов – таблиц, солнечных карт и т.п. Это данные о числе солнечных пятен и группах пятен и их площадях, о кальциевых флоккулах, солнечных магнитных полях, о солнечных волокнах по наблюдениям в линии H α , выбросах вещества. Представлены синоптические и фотографические карты Солнца, результаты оптических наблюдений короны Солнца, наблюдений вспышек в линии H α и патрульных наблюдений солнечной активности, измерений полного потока радиоизлучения Солнца, наблюдений на фиксированных частотах выдающихся явлений на Солнце и радио всплесков, восточно-западные радио сканы солнечного диска, радио спектрограммы событий на Солнце.

Одновременно с обменом обсерваторскими данными Мировые центры данных обменивались публикациями, содержащими специальные компиляции данных и информацию, интересную для исследователей. Эти публикации использовались большим числом пользователей Центров. К таким публикациям относится “Solar-Geophysical Data” – ежемесячный бюллетень, издававшийся Национальным центром геофизических данных США с 1955 по 2009 г. В этих бюллетенях содержатся комплексные подборки различных видов наблюдательных данных об активности солнца и его воздействии на Землю и информация об основных событиях на Солнце и связанных с ними межпланетных, ионосферных и других геофизических эффектах. В Центре хранится серия отчетов “Upper Atmosphere Geophysics (UAG) Report”, опубликованных Национальным центром геофизических данных США с 1968 по 1996 гг., с подборками солнечных, межпланетных и геофизических данных за определенные выбранные интервалы времени. Среди них есть специальные каталоги по солнечным активным явлениям (вспышкам, корональным дырам и выбросам

солнечных волокон), сборники кратких наблюдательных заметок с первичной обработкой отдельных выдающихся событий на Солнце, их откликам в межпланетной среде и околоземном космическом пространстве, представляющие особый интерес для научного сообщества. МЦД по СЗФ в Москве тоже издавал серию публикаций “Материалы Мирового центра данных Б” с наборами данных о различных проявлениях солнечной активности.

Со временем появлялись новые методы наблюдений, изменялись технологии наблюдений, обработки, передачи и хранения информации, в том числе и формы представления данных. С появлением приборов с компьютерной регистрацией, МЦД начали обмениваться данными в машиночитаемой форме в виде файлов данных, сопровождаемых описанием формата и пояснительным текстом, записанных на разного рода носители (магнитные ленты, дискеты, CD-диски). В 1980-е гг. были введены единые международные форматы представления данных в машиночитаемой форме для унификации процедуры обмена данными. Начали создаваться архивы данных в электронном виде и компьютерные базы данных. Следующий большой массив исторических данных, хранящихся в МЦД по СЗФ, состоит из наборов данных в машиночитаемой форме (электронном виде). Все они доступны на веб-сайте Центра.

Новые данные о солнечной активности были получены на приборах, установленных на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Наблюдения потоков солнечного излучения в линии излучения $L\alpha$ (Лайман альфа), выполненные на спутнике *Explorer* в период 1982–1989 гг., наблюдения в диапазоне крайнего ультрафиолетового излучения на спутнике *Explorer-E* в 1977–1980 гг., в диапазоне мягкого рентгеновского излучения (1–8 Å) на спутнике *Solrad* (1968–1974) и геостационарном спутнике *GOES*.

На ИСЗ проводятся измерения полной солнечной радиации – энергии, излучаемой Солнцем на всех длинах волн. В Центре на хранении находятся данные измерений излучения Земли над земной атмосферой полостным пиргелиомером на спутнике *Nimbus-7* (1978–1989) и измерений радиоизлучения Солнца на борту орбитальной станции *Solar Maximum Mission* (1980–1987).

Массив данных среднечасовых параметров солнечного ветра и значений межпланетного магнитного поля (IMF) был составлен по данным нескольких спутников доктором Дж.Х. Кингом в Центре космических полетов им. Годдарда (NASA GSFC) и передан в МЦД по СЗФ от имени Национального центра данных космических исследований и МЦД А по ракетам и спутникам.

Одновременно появились результаты наземных наблюдений в машиночитаемой форме, на-

ходящиеся на хранении в Центре и доступные для использования:

Значения коронального индекса солнечной активности, характеризующего полную энергию излучения самого внешнего атмосферного слоя Солнца (короны) на длине волны 530.3 нм, полученные на основе фотометрических патрульных наблюдений в 1964–1986 гг. на 8 наземных станциях.

Данные об относительных числах солнечных пятен в международной (цюрихской) системе: максимумы и минимумы, суточные, месячные, годовые и сглаженные значения за все время наблюдений. Ежедневные сводки о числе пятен Гринвичской обсерватории (1874–1982), астрономических обсерваторий Рим (1958–1990) и Тайбей (1964–1992). Сводки групп солнечных пятен астрономических обсерваторий Маунт Вилсон (1967–1989), Рим (1978–1990), Гринвич (1875–2018), Катания (1978–1987) и службы Солнца США (1981–2018).

Солнечные вспышки по наблюдениям обсерваторий в самой сильной спектральной линии водорода Н-альфа (1938–1994), полный список вспышек из патрульных наблюдений (1955–1994) и обобщенный вспышечный индекс (CFI), рассчитанный для всех крупных вспышек за период 1955–1980.

Измерения радиозумов на наземных станциях (1960–1989) и спектрального радиозума (1967–1989).

Результаты наблюдений за кальциевыми флоккулами (хромосферными факелами), полученные в солнечных обсерваториях Хейл (1979–1981), Биг Бэр (1981–1987) и МакМас (1942–1979).

Измерения магнитного поля Солнца (Sun as a Star), суммированные по солнечному диску (интенсивность магнитного поля в мкТл). Каждое значение – это средневзвешенное значение всех измерений в течение дня. Данные Крымской Астрофизической обсерватории с 1968 по 1976 гг. и Стэнфордской Солнечной обсерватории с 1975 по 1989 гг.

Плотность солнечного излучения, зарегистрированная на частоте 2800 МГц радиотелескопом около г. Оттавы (1947–2018 гг.) в виде таблиц, содержащих наблюдаемые, скорректированные и абсолютные значения потока, усредненные за дневные, месячные и годовые интервалы. Эти данные подготовлены в Институте астрофизики им. Г. Герцберга в Канаде.

Большинство коллекций данных, входящих в современные фонды МЦД по СЗФ, постоянно пополняются, формируются новые коллекции в электронном виде. В настоящее время на страницах веб-сайта Центра, относящихся к разделу “Солнечная активность” (www.wdcb.ru/stp/solar/), размещены в свободном доступе наиболее часто используемые данные.

Одним из самых распространенных показателей (индексов) солнечной активности является относительное число солнечных пятен (число Вольфа). На сайте находятся данные о количестве солнечных пятен – ежедневное общее число солнечных пятен с 1818 г., среднемесячное число пятен с 1749 г. и среднегодовое число пятен с 1700 г. Эти данные предоставляет Мировой центр данных по производству, сохранению и распространению международного числа солнечных пятен (WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels). С 1.VI.2015 г. этот Центр перешел на новую версию ряда данных (“Версия 2”), которая усиливает влияние групп солнечных пятен и сглаживает (по мнению авторов) неоднородности во временных рядах (<http://sidc.oma.be/silso/newdataset>).

Другим индексом солнечной активности важным для многих исследований является поток радиоизлучения Солнца с длиной волны 10.7 см (2800 МГц), который хорошо коррелирует с изменением солнечной активности на всем видимом диске Солнца. Пользователям сайта даны ряды суточных, месячных и годовых значений потока радиоизлучения, измеренных солнечным радиотелескопом в трех видах: наблюденные, исправленные на изменение расстояния Земля–Солнце и приведенные к среднему расстоянию и абсолютные значения. Эти данные публикует Радиоастрономическая обсерватория в Пентиктоне (Британская Колумбия, Канада).

Пользователи сайта могут ознакомиться с таблицей циклов солнечной активности, в которой для каждого цикла приведены годы начала, максимума и минимума, сглаженное за 13 мес. относительное число солнечных пятен, длительность цикла и длительности ветвей роста и спада, и с описанием особенностей текущего 24 цикла. Там же опубликованы каталоги солнечных вспышечных событий XXIII и XXIV циклов с рентгеновским баллом больше M1. Вспышки отражают энергетику соответствующих магнитных полей, и поведение параметров вспышек в 11-летнем цикле представляет значительный интерес. Каталог содержит для каждой вспышки временные параметры, рентгеновский и оптический (в H α линии) баллы, интегральный поток рентгеновского излучения, координаты (гелиографическая широта, кэррингтоновская долгота), активную область, в которой произошла вспышка, пиковый радио поток в выбранных частотах, динамические радио всплески, корональный выброс вещества, время и максимальную энергию жесткого рентгеновского излучения, максимальный поток солнечных протонов и сопутствующие динамические явления в оптическом диапазоне.

На сайте размещены электронные версии 6 каталогов солнечных протонных событий (СПС) и их энергетических спектров, подготовленные

коллективами специалистов в области солнечно-земной физики под редакцией Ю.И. Логачева. Каталоги включают систематизированные данные за период 1970–2008 гг. о событиях с генерацией протонов, для которых максимальный поток протонов с энергией $E_p > 10$ МэВ превышал значение $1 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ (pfu), и содержат сведения об источниках частиц и о связанном с данным событием электромагнитном излучении во всем доступном наблюдениям диапазоне. Для каждого события приведен интегральный энергетический спектр, таблицы и графики потоков зарегистрированных протонов различных космических аппаратов (для СПС 1996–2008 гг.) в максимуме временного профиля интенсивности.

Данные о секторной структуре межпланетного магнитного поля включают таблицы, содержащие ежедневные определения направления полярности межпланетного магнитного поля – от Солнца или к Солнцу (знак сектора), по данным Стэнфордского университета (1947–1975), и по наблюдениям на обсерваториях “Восток” и “Тулс” (1974–2010); таблицу, составленную Л. Свальгардом, наиболее вероятных времен прохождения секторной границы поля, когда полярность межпланетного магнитного поля реверсирует, то есть изменяется на противоположную, и таблицу и соответствующий график, содержащие азимутальные углы межпланетного магнитного поля, рассчитанные на основе среднесуточных почасовых значений компонент X и Y по данным Центра космических полетов им. Р. Годдарда.

3. РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ В МЦД

За время существования Мировых центров данных произошло значительное развитие технологии управления данными от формирования простых архивов, типа библиотек, до современных сетевых технологий представления данных, начиная с публикации каталогов наличия данных до данных в режиме on-line и создания тематических баз данных и порталов. МЦД по СЗФ постоянно проводит работу по усовершенствованию методов хранения, систематизации и распространения больших массивов геофизических данных и информации, обеспечивая к ним свободный сетевой доступ.

Веб-сайт Центра (<http://www.wdcb.ru/stp/index.ru.html>), существующий с 1995 г., является частью глобальной распределенной системы информационных ресурсов по геофизике. Система ссылок предоставляет возможность доступа к данным, размещенным на сайтах других центров, институтов, научных организаций и исследователей.

С 2014 г. в МЦД по СЗФ реализуется проект “Сохранение старых данных” – перевод данных с

бумажного носителя в электронный вид. Цель проекта – увеличение массивов данных в электронном виде, предотвращение утраты ценных исторических данных, обеспечение свободного доступа к ним в Интернет для более эффективного использования.

Вторым важным проектом является создание современной системы регистрации, публикации и цитирования геофизических данных с присвоением цифрового идентификатора объекта DOI (Digital Object Identifier) – “Earth Science Data-Base”. Отношение к данным, их распространению, цитированию и документированию значительно изменилось. Получение новых данных рассматривается как полноценный результат научного исследования, подлежащий распространению и цитированию так же, как и другие научно-исследовательские источники информации – журналы, статьи, книги. Система DOI активно распространяется на научные данные, в том числе на результаты солнечных и геофизических наблюдений. Каждый набор данных с присвоенным индексом DOI становится более доступным для поиска, идентификации и цитирования.

Регистрация данных и публикация с присвоением DOI происходит через агентство Crossref. Создан центральный репозиторий, в котором находится база метаданных всех зарегистрированных баз и наборов данных, включающая полные описания данных, информацию об авторах и производителях, организациях-поставщиках и хранителях (публикаторах) данных и другую информацию, которая может быть полезной потребителям. Для каждого зарегистрированного объекта создана страница отклика с полной информацией о базе/наборе данных, с адресом нахождения данных и образцом цитирования.

Например, базе данных из 6 каталогов солнечных протонных событий и каждому каталогу в отдельности был присвоен цифровой идентифика-

тор объекта DOI, зарегистрированный в системе CrossRef. Для базы данных и каждого каталога созданы страницы отклика. Со страниц отклика можно по указанным адресам для “загрузки” данных перейти непосредственно к наборам данных, опубликованным на веб-сайте МЦД по СЗФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мировой центр данных по солнечно-земной физике сохраняя исторические массивы данных, дополняя их новыми результатами наблюдений, совершенствуя систему управления данными, стремится обеспечить ученых простой и удобный доступ к ним, повысить ценность научных данных, создать условия для их более полного использования.

Работа выполнена по теме НИР 0145-2016-0005 государственного задания ГЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Guide to International Data Exchange through the World Data Centers (for the period 1960-onwards). Issued by the Comite International de Geophysique through the CIG-IQSY Secretariat. London. November. 1963.
2. Солнечная активность. Каталог данных. 1 июля 1957–31 декабря 1986. Материалы Мирового центра данных Б. Междугосударственный геофизический комитет при Президиуме АН СССР. Москва, 1988.
3. Харин Е.П., Сергеева Н.А. Золотой фонд наук о Земле // Земля и Вселенная. 2007. № 4. С. 66–71.
4. World Data System (WDS) Data Sharing Principles. WDS Scientific Committee. November. 2015. <http://dx.doi.org/doi.10.5281/zenodo.34354>.
5. Логачев Ю.И., Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В. и др. Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996–2008 гг.). М.: ESDBrepository, ГЦ РАН, doi 10.2205/ESDB-SAD-P-001-RU