

Наблюдательные данные для исследования солнечных активных явлений и космической погоды

В. Н. Ишков^{1,2}, Н. А. Сергеева², Л. П. Забаринская², Э. О. Кедров², М. В. Нисилевич² и Т. А. Крылова²

Получено 4 декабря 2019 г.; принято 15 января 2020 г.; опубликовано 23 сентября 2020 г.

Для изучения происходящих на Солнце и в межпланетном пространстве явлений и их влияния на околоземное космическое пространство, на процессы во внешних и внутренних оболочках Земли наиболее ценными являются результаты непрерывных многолетних наблюдений за солнечной активностью. Представительная коллекция таких данных, полученных мировой сетью солнечных и астрономических обсерваторий и на космических аппаратах, собрана в Мировом центре данных по солнечно-земной физике в Москве. В статье приводятся основные определения солнечной активности и явлений с ней связанных, способных воздействовать на околоземное космическое пространство, описание наблюдательных данных, необходимых для оценки состояния космической погоды, находящихся в фондах и опубликованных на сайте Центра в открытом доступе. Представлены работа Центра по сохранению и эффективному использованию исторических данных, новый подход к публикации данных в сети и внедрению практики цитирования данных. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** солнечная активность; космическая погода; околоземное космическое пространство; мировой центр данных; свободный доступ; цифровой идентификатор объекта (DOI); цитирование данных.

Ссылка: Ишков, В. Н., Н. А. Сергеева, Л. П. Забаринская, Э. О. Кедров, М. В. Нисилевич и Т. А. Крылова (2020), Наблюдательные данные для исследования солнечных активных явлений и космической погоды, *Вестник ОНЗ РАН*, 12, NZ4001, doi:10.2205/2020NZ000365.

Введение

Начало космической эры стало новым шагом в исследовании Земли в широком смысле, от ее глубин до границ с гелиосферой, как наземными приборами, так и установленными на борту космических аппаратов. Интеграция наблюдений на Земле и в космическом пространстве в рамках Международного геофизического го-

да (1957–1958 гг.) резко ускорила исследования в области солнечно-земной физики и геофизики и их развитие идет именно по пути сопоставления и учета измерений в космосе с измерениями наземными инструментами. Все возрастающие темпы освоения космического пространства поставили в повестку дня задачу оценки и прогноза состояния космической среды и её влияния на процессы во всех оболочках Земли, как во внешних газообразных, так и во внутренних, начиная с поверхностных слоёв и до процессов в ядре. Развитие новых технологий получения, оценки и хранения огромных массивов наблюдательных данных, как и возможности предоставления их учёному сообществу в реальном времени привели к созданию системы Мировых центров дан-

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

²Геофизический центр РАН, Москва, Россия

ных по солнечно-земной физике, околоземному космическому пространству и всему объёму геофизических данных.

В данной работе под околоземным космическим пространством понимается область, которая начинается с высот 50–60 км от Земли и простирается на расстояние в десятки земных радиусов до границ с гелиосферой, в которой вещество, ее заполняющее, все еще больше связано с нашей планетой, а не с Солнцем или каким-либо другим астрономическим телом. Понятно, что в этой области мы имеем дело главным образом с естественной плазмой.

Солнечная активность

Солнечной активностью принято называть всю совокупность наблюдаемых явлений в атмосфере Солнца, вызывающих изменения его излучения в различных диапазонах электромагнитных волн и потоках частиц различных энергий. Эти изменения в оптическом диапазоне проявляются в основном в изменении количества различных солнечных структур и почти не заметны в излучении ($\sim 0,1\%$). Однако в мягком рентгеновском излучении эти изменения проявляются и в количестве структур, и в излучении: разница уровня “фонового” излучения в диапазоне 1–8 Å (1–12.5 кэВ) в максимуме и в минимуме солнечной активности превышает 2 порядка (больше чем в 100 раз).

Состояние солнечной активности характеризуется наблюдательными **индексами**, наиболее длительный временной ряд из которых имеет относительное число солнечных пятен (W), впервые введенное Р. Вольфом. Данный индекс регулярно определялся сначала в Цюрихе, а сейчас в Брюсселе, с 1849 года. Этот год принят за начало научных наблюдений Солнца. Кроме того, Вольф восстановил среднемесячные значения данного индекса до 1749 г. и среднегодовые до 1700 г. по довольно отрывочным данным отдельных европейских наблюдателей. Современные исследователи по литературным данным одиночных телескопических наблюдений сумели качественно продлить этот ряд до 1611 года. Достоверность всех восстановленных данных низкая – они дают возможность лишь увидеть намек на то, что цикличность солнечной актив-

ности существовала и в то время.

Одной из самых замечательных особенностей Солнца являются почти периодические изменения интенсивности и числа различных проявлений солнечной активности – **циклы солнечной активности**. За первый цикл условно принят цикл, начавшийся в марте 1755 года. В [Ишков и Шибеев, 2006] было показано, что пронумерованный ряд чисел Вольфа (1749–2020 гг.) при сравнении с достоверным (1849–2020 гг.) показал явные отличия в положении и значениях основных гармоник и спектральных характеристик данных рядов. Кроме того, из сравнения рядов вытекает:

- отличительный характер поведения основных характеристик на интервале 1749–1849 гг. (восстановленный ряд);
- *увеличение* длины ряда ведет к *ухудшению* разрешения некоторых значимых спектральных характеристик (обычно наоборот);
- существенно искажается “высокочастотная” часть спектра.

Это ставит вопрос о корректности использования восстановленной части ряда в большинстве приложений. Другими словами для исследования влияния солнечной активности на различные долговременные процессы в геофизике можно пользоваться лишь достоверным рядом чисел Вольфа (1849–2020 гг.) с середины 9 и по 24 солнечные циклы. В тоже время, в статистику достоверных солнечных циклов для оценочных работ можно условно включить циклы 8 и 9, примыкающие к достоверным и не противоречащие основным характеристикам циклов достоверного ряда [Shibeev and Ishkov, 2012], увеличив тем самым статистику до 17 циклов солнечной активности.

Статистика достоверных солнечных циклов показывает удивительное постоянство в основных проявлениях развития отдельных 11– и 22-летних солнечных циклов, а структура его цикличности подразумевает периодическую смену эпох повышенной (циклы 6, 7, 8–10; 18–22) и пониженной (циклы 12–16; 24– и 4 последующих) солнечной активности, каждая по пять циклов [Ишков, 2013]. Между эпохами наблюдаются переходные периоды (циклы 11, 17 и 23), во время

которых примерно за 15 лет (т.е. процессы перехода в новый режим захватывают и часть соседнего солнечного цикла, предыдущего или последующего) меняется характер пятнообразовательной активности – режим генерации магнитных полей в пятнообразовательной зоне, что и приводит к изменениям в общем магнитном поле Солнца. Принципиальные различия характеристик и основных свойств солнечных циклов различных эпох определяются разным диапазоном изменений величин средних фоновых значений общего магнитного поля Солнца, что проявляется в характере пятнообразовательной деятельности и определяет общие характеристики циклов внутри эпох солнечной активности.

Космическая погода

Под термином “космическая погода” в настоящее время понимается состояние верхних слоев земной атмосферы (мезосферы, термосферы), магнитосферы, ионосферы – т.е. всех слоев околоземного космического пространства – в любой заданный отрезок времени.

В настоящее время пришло понимание того, что основное воздействие на околоземное космическое пространство и в целом на процессы на Земле оказывает само Солнце непосредственно через весь спектр электромагнитного излучения и геоэффективные явления в его атмосфере, как непосредственно через их излучение, так и через солнечный ветер.

Современные исследования не оставили сомнения, что геоэффективными явлениями на Солнце, динамически влияющими на состояние околоземного космического пространства, являются исключительно большие вспышечные события и корональные дыры. К классу вспышечных событий мы относим:

- солнечные вспышки со всем спектром динамических проявлений движения вещества, излучения во всех диапазонах электромагнитного спектра и частиц всех возможных в данном явлении энергий;
- выбросы солнечных волокон со всеми сопутствующими им явлениями.

Агентами, вызывающими возмущения околоземного космического пространства, являются:

- корональные выбросы вещества, являющиеся следствием активных процессов во вспышках и выбросах волокон;
- высокоскоростные потоки солнечной плазмы, следующие за ударной волной от больших солнечных вспышечных событий или истекающие из областей с открытой конфигурацией магнитного поля (корональные дыры).

Полную цепочку возмущений в околоземном космическом пространстве от отдельного большого вспышечного события можно представить в виде трех отдельных этапов воздействия с пятибалльной оценкой интенсивности возмущения:

- *электромагнитный удар* (R) – нарушает радиосвязь в ионосфере из-за роста потока излучения в диапазонах УФ и мягкого рентгена, осуществляется в реальном времени развития геоэффективной солнечной вспышки; R1–R5;
- *корпускулярный удар – солнечное протонное событие* (S) – повышает уровень радиационной опасности, когда происходит вторжение значительных потоков солнечных заряженных частиц, начинается в промежутке времени от нескольких минут до 24 часов в зависимости от энергии частиц; S1–S5;
- *плазменный удар – магнитные возмущения* (G) в геомагнитном поле, которые вызываются приходом в околоземное космическое пространство возмущенных структур солнечного ветра, начинаются либо через 17–96 часов от начала вспышечного события, либо с выходом корональной дыры на геоэффективную позицию; G1–G5.

Согласно этой классификации введена пятибалльная шкала оценки интенсивности в максимуме каждого из воздействий [NOAA Space Weather Scales], которая приведена в Табл. 1.

Другим фактором, определяющим радиационную обстановку околоземного космического пространства, являются потоки частиц галактических космических лучей всего диапазона энергий (от 10^6 до 10^{21} эВ), которые приходят к Земле со всех направлений внешнего по отношению к Солнечной системе космического пространства. Они состоят из протонов, электронов и ядер химических элементов от водорода

Табл. 1. Пятибалльная шкала космической погоды, составленная на основе [NOAA Space Weather Scales]

Балл события	Описание события	R Класс вспышки в (1–12,5 кэВ)	S Поток протонов с $E \geq 10$ МэВ	G Геомагнитная буря, K_p индекс
5	экстремальное	$> X20 (2 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^{-2})$	> 100000 pfu	9
4	сильно возмущённое	$> X10 (10^{-3} \text{ Вт/м}^{-2})$	> 10000 pfu	8 и 9–
3	возмущённое	$> X1 (10^{-4} \text{ Вт/м}^{-2})$	> 1000 pfu	7
2	слабо возмущённое	$> M5 (5 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/м}^{-2})$	> 100 pfu	6
1	спокойное	$> M1 (10^{-5} \text{ Вт/м}^{-2})$	> 10 pfu	5

до урана в пропорциях, примерно соответствующих средней распространенности химических элементов во Вселенной. В настоящее время основным источником галактических космических лучей считаются взрывы сверхновых звезд. В гелиосфере на орбите Земли энергетический спектр частиц этих потоков имеет резкий максимум при энергиях 0.5–1 ГэВ, точное положение которого зависит от состояния межпланетного магнитного поля Солнечной системы, определяемого, в свою очередь, уровнем солнечной активности. Поток частиц галактических космических лучей изменяется в противофазе с периодическим изменением солнечной активности [Панасюк, 2019].

Наблюдательные данные

Для изучения происходящих на Солнце явлений и их влияния на околоземное космическое пространство, на процессы во внешних и внутренних оболочках Земли наиболее ценными являются результаты непрерывных многолетних наблюдений за солнечной активностью и её откликом в околоземном космическом пространстве.

Наблюдательные данные, на основании которых можно определить эволюционное и вспышечное состояние Солнца любого выбранного периода за всё время научных наблюдений за солнечной активностью, сводятся к следующим:

1. Ежедневные, среднемесячные, среднегодовые характеристики солнечной активности, основные индексы которой – относительное число солнечных пятен (W), поток радио-

излучения на длине волны 10,7 см ($F_{10,7cm}$), фоновые значения рентгеновского излучения в стандартном диапазоне 1–12.5 кэВ = 1–8 Å.

2. Ежедневные, среднемесячные, среднегодовые числа и площади солнечных активных областей, включая группы солнечных пятен, гелиографические координаты всех групп пятен; форма, площадь, протяженность группы солнечных пятен и их эволюционные характеристики. Эти данные дают локализацию, динамику развития и информацию о появлении новых вспышечных всплывающих потоков в отдельных группах пятен (активных областях), что дает возможность оценки их вспышечной активности на исследуемый период.
3. Ежедневные данные о солнечных вспышечных событиях особенно больших и геоэффективных с их пространственной и временной локализацией, интенсивностью в максимуме (рентгеновский класс) и полным потоком в области мягкого рентгеновского излучения (1–12.5 кэВ), интенсивностью радиовсплесков на фиксированных частотах и параметрами динамических радиовсплесков II и IV типов, наличием и характеристиками коронального выброса вещества во вспышке, координатами, временем и размерами выбросов солнечных волокон. Локализация и основные характеристики больших вспышечных событий позволяют провести диагностику геоэффективности вспышки и оценить возможность прихода возмущения и солнечных частиц к Земле в любой нужный интервал времени,

ограниченный наблюдательными данными.

4. Информация о низкоширотных корональных дырах: их локализация, эффективные площади, знак, величина и полный поток магнитного поля; о динамике и положении секторных границ межпланетного магнитного поля; наблюдательные данные о состоянии межпланетной среды по солнечному ветру и межпланетному магнитному полю, что даёт возможность отслеживать явления, от которых зависит успешное описание рекуррентной геомагнитной активности.

Наблюдательные данные, на основании которых можно определить состояние околоземного космического пространства в любой выбранный промежуток времени периода достоверных наблюдений:

1. Наблюдения потоков солнечных протонов, фонового излучения галактических космических лучей и потоков релятивистских электронов ($E > 2$ МэВ) по данным геостационарных и специализированных научных спутников и наземной сети нейтронных мониторов дают возможность оценить состояние радиационных поясов Земли (радиационную обстановку) в любой нужный интервал времени, ограниченный наблюдательными данными.
2. Индексы геомагнитной активности и наблюдательные данные о фоновом состоянии и кратковременных возмущениях: внезапные импульсы (SI), внезапные начала возрастания интенсивности геомагнитного поля (SC – приход межпланетной ударной волны к Земле, крошэ – электромагнитное воздействие на магнитосферу в момент вспышки) позволяют исследовать состояние геомагнитного поля в любой выбранный интервал времени, ограниченный наблюдательными данными.

Мировая система данных и Мировой центр данных по солнечно-земной физике в Москве

Процесс активного накопления и сохранения гелиофизических и геофизических данных на-

чался с Международного геофизического года (МГГ) 1957–1958 гг., в преддверии которого была создана система Мировых центров данных (МЦД) для сбора, хранения и распространения данных, полученных при реализации всех наблюдательных программ МГГ. Система МЦД просуществовала более 50 лет.

С 2009 г. согласно решению Международного научного совета создается новая структура – Мировая система данных (МСД) (ICSU-WDS), 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. Осуществляется переход от множества обособленных центров и служб к глобальной интероперабельной распределенной системе данных с развитыми взаимосвязями между отдельными дисциплинарными компонентами. Мировая система данных создается как многодисциплинарная структура с более широкой дисциплинарной и географической базой, которая гарантирует свободный доступ к качественным данным и информации и создание передовых средств доступа и обработки данных. На сегодняшний день эта система включает более 80 регулярных членов (Рис. 1).

Мировой центр данных по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ) в Москве, созданный в 1956 г. по программе МГГ, с 2011 г. является регулярным членом Мировой системы данных, руководствуется основными принципами Конституции МСД (ICSU-WDS Constitution) и поддерживает Политику МСД в отношении данных (ICSU-WDS Data Sharing Principles). Центр постоянно совершенствует методы хранения, систематизации и распространения геофизических данных и информации параллельно с развитием технологии управления данными от формирования простых архивов, таких как библиотеки, до современных сетевых технологий представления данных, начиная от публикации каталогов наличия данных до онлайн-данных и создания тематических баз данных и порталов. С 1995 года сайт Центра является частью глобальной распределенной системы информационных ресурсов по геофизике.

В хранилищах МЦД по СЗФ за период более 60 лет накоплены значительные объемы данных планетарной геофизики и гелиофизики, полу-

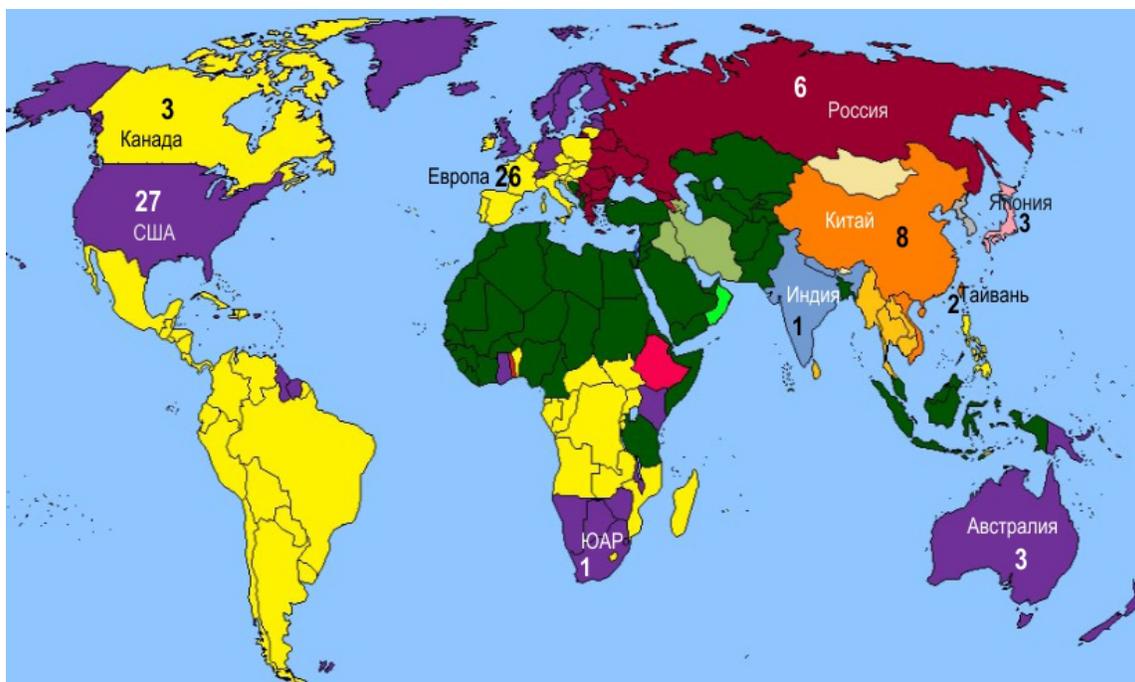


Рис. 1. Регулярные члены Мировой системы данных (октябрь 2019 г.).

ченные в нашей стране и за рубежом [Sergeyeva *et al.*, 2013], 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 страницах сайта МЦД по солнечно-земной физике (МЦД по СЗФ) представлены сведения о Центре, информация для пользователей, каталоги наличия данных и реализован свободный онлайн доступ к большому количеству данных (Рис. 2).

МЦД по СЗФ обладает архивом исторических и современных данных [Харин и Сергеева, 2007] о магнитосфере Земли (результаты измерений полей и частиц в магнитосфере; записи вариаций геомагнитного 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 раз-

деле представлены данные о солнечной активности и межпланетном магнитном поле.

Исторические и современные данные о солнечной активности в МЦД по СЗФ

В фондах МЦД по СЗФ хранятся исторические данные о явлениях, происходящих на Солнце, – результаты наблюдений за Солнцем всемирной сетью солнечных и астрономических обсерваторий в период с 1957 года по начало 90-х годов в виде бумажных документов: таблиц, солнечных карт и т. д. Эти данные включают широкий спектр результатов стандартных измерений и данных о солнечных событиях во всех слоях солнечной атмосферы: числа солнечных пятен и групп солнечных пятен, их положение и площади; данные о кальциевых флоккулах, солнечных магнитных полях, солнечных волокнах (на лимбе протуберанцы) в линии H_{α} водорода (656,28 нм), которые локализируются на линиях раздела полярности и корональных выбросах массы. Кроме того, имеются синоптические и фотографические карты Солнца, результаты оптических наблюдений солнечной короны, наблюдений вспышек в линии H_{α} и патрульных наблюдений солнечной активности, измерений суммарного потока радиоизлучения Солнца, наблюдений на фиксированных частотах выдающихся явлений на Солнце и радиовсплес-

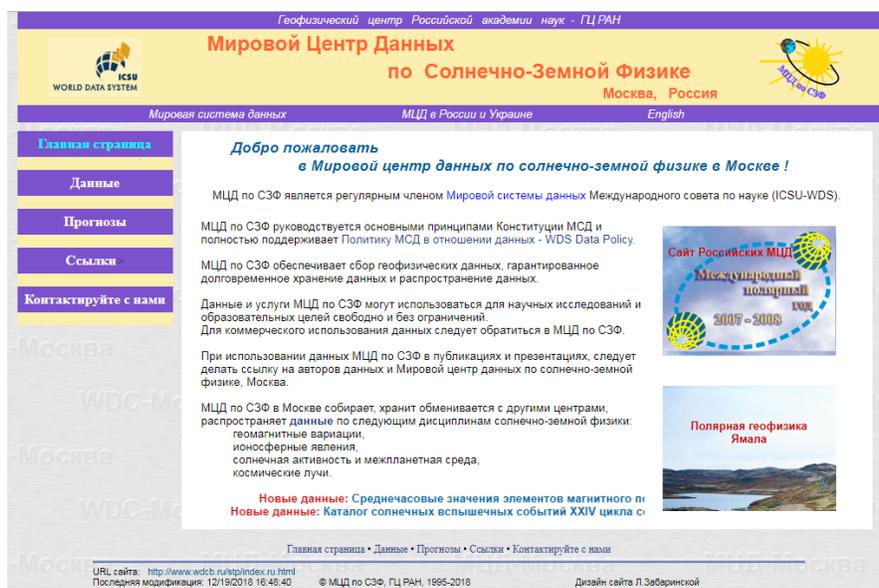


Рис. 2. Главная страница сайта Мирового центра данных по солнечно-земной физике.

ков, восточно-западные радиосканы солнечного диска, радиоспектрограммы солнечных событий (МЦД по СЗФ).

Сохранились публикации, содержащие специальные подборки данных, являющиеся важным информационным ресурсом. Среди таких публикаций полный набор бюллетеней “Solar Geophysical Data”, ежемесячно распространявшихся Национальным центром геофизических данных (NGDC) США с 1955 по 2009 год, являющийся наиболее полной сводкой наблюдательных данных по солнечной активности, по отдельным характеристикам солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, и основным индексам геомагнитной активности. Кроме того, практически полный набор российского бюллетеня “Солнечные данные”, издаваемый ГАО, Пулковско, в котором публиковались наблюдательные данные по группам солнечных пятен и другим активным явлениям на Солнце по наблюдениям советских обсерваторий. Другие издания содержат различного рода подборки данных наблюдений за активностью Солнца и его воздействием на Землю, а также информацию об основных солнечных событиях и связанных с ними межпланетных, ионосферных и других геофизических эффектах. Серия бюллетеней “Upper Atmosphere Geophysics” (UAG), публиковавшихся на нерегулярной основе американским Национальным центром геофизических данных

(NGDC) с 1968 по 1996 год, хранится в МЦД по СЗФ. Это коллекции солнечных, межпланетных и геофизических данных за определенные интервалы времени. Среди них – специальные каталоги солнечных активных явлений (вспышек, корональных дыр и выбросов солнечных волокон), подборки кратких наблюдений с первичной обработкой отдельных выдающихся событий на Солнце, их откликов в межпланетной среде и околоземном пространстве. МЦД по СЗФ в Москве также публиковал серию “Материалы Мирового центра данных Б” с наборами данных о различных проявлениях солнечной активности (МЦД по СЗФ).

Значительное количество исторических данных, хранящихся в МЦД по СЗФ, представлено в машиночитаемом виде (МЦД по СЗФ). Среди них данные об электромагнитном и корпускулярном излучениях Солнца, полученные с помощью приборов, установленных на спутниках: наблюдения потоков солнечного излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра со спутников серии Explore (1977–1989 гг.), Solrad (1968–1974 гг.), геостационарных спутников серии GOES (1975–2019 гг.), Nimbus-7 (1978–1989 гг.) и других, измерения радиоизлучения Солнца на борту орбитальной станции Solar Maximum Mission (1980–1987 гг.).

Наряду со спутниковыми наблюдениями в Центре сохраняются результаты наземных наблюде-

Геофизический центр Российской академии наук - ГЦ РАН

Мировой Центр Данных по Солнечно-Земной Физике
Москва, Россия

Мировая система данных МЦД в России и Украине English

Главная страница > Данные > Солнечная активность >

Солнечная активность и межпланетная среда

Солнечной активностью принято называть всю совокупность наблюдаемых нестационарных явлений в атмосфере Солнца, его излучении в разных диапазонах электромагнитных волн и потоках частиц различных энергий.

Степень солнечной активности характеризуется определенными индексами, которые вычисляются по результатам наблюдений на различных приборах и дают представление только о части сложной картины солнечной активности.

Межпланетная среда — вещество и поля, заполняющие пространство внутри Солнечной системы от солнечной короны до границ гелиосферы за исключением планет и тел Солнечной системы. В понятие "Межпланетная среда" не включаются внешние атмосферы планет (водородные протяженные короны), кометы и их остатки, ближайшие к Солнцу части солнечной короны, космические лучи, в том числе солнечного происхождения.

Межпланетная среда в основном включает солнечный ветер, межпланетное магнитное поле, космические лучи (заряженные частицы высокой энергии), нейтральный газ, межпланетную пыль и электромагнитное излучение. Межпланетная среда играет ключевую роль в солнечно-земной физике и ее практической части - космической погоде. Под этим термином понимается состояние магнитосферы, ионосферы, тропосферы, термосферы - всех слоев околоземного космического пространства в любой заданный отрезок времени, которое определяется активными явлениями на Солнце. В настоящее время под термином «околоземное космическое пространство» понимается область, начинающаяся с высот 50 – 60 км от Земли и простирающаяся на расстояние в десятки земных радиусов, в которой вещество ее заполняющее, все еще больше связано с нашей планетой, а не с Солнцем или каким-либо другим астрономическим телом. Понятно, что в этой области мы имеем дело главным образом с естественной плазмой.

Мировой центр данных по солнечно-земной физике обладает обширным архивом данных о солнечной активности и межпланетной среде, полученных на мировой сети солнечных обсерваторий и станций и в аналитических центрах.

Солнечные пятна
Поток радиоизлучения Солнца с длиной волны 10.7 см (2800 МГц)
Солнечные вспышечные события
Солнечные протонные события
Циклы солнечной активности
Секторная структура межпланетного магнитного поля
Данные о солнечной активности и межпланетной среде off-line
Список солнечных обсерваторий

Данные о солнечной активности и межпланетной среде на сайтах других организаций

Главная страница • Данные • Прогнозы • Ссылки • Контактыруйте с нами

URL: http://www.wdcb.ru/ru/psolar/solar_activity/ru.html
Последняя модификация: 10/02/2019 11:41:21 © 1995-2019 МЦД по СЗФ, ГЦ РАН

Рис. 3. Страница сайта МЦД по СЗФ с данными о солнечной активности.

ний в машиночитаемом виде, доступные для использования:

- Значения коронального индекса солнечной активности, характеризующего суммарную энергию излучения короны Солнца на длине волны 530,3 нм, полученные в результате фотометрических патрульных наблюдений на 8 наземных станциях в 1964–1986 гг.;
- Данные о группах солнечных пятен из астрономических обсерваторий Маунт Уилсон (1967–1989 гг.), Рим (1978–1990 гг.), Гринвич (1875–1981 гг.), Катания (1978–1987 гг.);
- Данные о кальциевых флоккулах (активных областях) из солнечных обсерваторий Hale (1979–1981 гг.), Big Bear (1981–1987 гг.) и McMath (1942–1979 гг.);
- Сведения о солнечных вспышках по наблюдениям в водородной спектральной линии H_{α} (1938–1994 гг.), полный перечень вспышек из патрульных наблюдений (1955–1994 гг.), обобщенный вспышечный индекс (CFI), рассчитанный для всех крупных вспышек за период 1955–1980 гг.;
- Измерения радиозумов на наземных станциях (1960–1989 гг.) и спектральных радиозумов (1967–1989 гг.);
- Измерения магнитного поля Солнца, суммированные по солнечному диску (напряженность магнитного поля в мкТл); каждое значение является средневзвешенным из всех измерений в течение дня. Данные Крымской астрофизической обсерватории с 1968 по 1976 г. и Стэнфордской солнечной обсерватории с 1975 по 1989 г.

Большая часть наборов данных, входящих в современные фонды МЦД по СЗФ, постоянно пополняется, формируются новые подборки данных в электронном виде. В настоящее время наиболее часто используемые данные публикуются в разделе “Солнечная активность и межпланетная среда” (МЦД по СЗФ) сайта Центра Рис. 3).

Наиболее часто используемым индексом солнечной активности является относительное число солнечных пятен (число Вольфа). На сайте МЦД по СЗФ представлены данные о числе солнечных пятен в международной (Цюрихской) системе ежедневные с 1818 г., среднемесячные с 1749 г. и среднегодовые с 1700 г., являющи-

еся версией 1.0 данных, предоставляемых МЦД по определению, сохранению и распространению международного числа солнечных пятен (WDC-SILSO) Бельгийской Королевской обсерватории в Брюсселе. С 1 июля 2015 г. WDC-SILSO произвел замену первоначальных рядов данных о числе солнечных пятен новыми пересмотренными рядами данных (версия 2.0), которые можно получить с сайта этого центра (WDC-SILSO). В новой версии усиливается влияние групп солнечных пятен и сглаживаются неоднородности во временных рядах (по мнению авторов).

Другим важным для многих исследований индексом солнечной активности является поток солнечного радиоизлучения $F_{10,7}$ с длиной волны 10,7 см (2800 МГц), который хорошо коррелирует с изменением солнечной активности на всем видимом диске Солнца. На сайте МЦД по СЗФ представлены серии ежедневных, среднемесячных и среднегодовых значений потока радиоизлучения, измеренных солнечным радиотелескопом в трех видах: наблюдаемые, скорректированные на изменения расстояния Земля-Солнце и приведенные к среднему расстоянию (1 астрономическая единица) и абсолютные значения. Эти данные публикует Радиоастрофизическая обсерватория Доминиона Института астрофизики им. Герцберга (Канада).

Данные о секторной структуре межпланетного магнитного поля включают таблицы, содержащие ежедневные определения направления полярности межпланетного магнитного поля – от Солнца или к Солнцу (секторный знак), по данным Стэнфордского университета (1947–1994 гг.), и измерения в обсерваториях Восток и Туле (1974–2010 гг.); таблицу, составленную Л. Свалггардом (L. Svalgaard), о наиболее вероятных временах прохождения секторной границы поля за всё время наблюдений, когда полярность межпланетного магнитного поля меняется на противоположную, также таблицу и соответствующий график, содержащий азимутальные углы межпланетного магнитного поля, рассчитанные на основе среднесуточных почасовых значений компонент X и Y по данным Центра космических полетов им. Годдарда.

Пользователям предоставляется возможность просмотреть таблицу циклов солнечной активности, которая включает в себя годы начала, максимума и минимума каждого цикла в отно-

сительном числе солнечных пятен, сглаженном за 13 месяцев, длительность цикла и продолжительность ветвей роста и спада, а также описание особенностей характера текущего 24 цикла солнечной активности.

Каталоги солнечных вспышечных событий с рентгеновским баллом более $M1$ для 23 и 24 солнечных циклов (1996–2019 гг.) также опубликованы здесь. Солнечные вспышки отражают выделенную энергию магнитных полей в области осуществления вспышечных событий, 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) активной области, в которой произошла вспышка, пиковый радиопоток в выбранных частотах, динамические радиовсплески, корональный выброс вещества, время и максимальную энергию жёсткого рентгеновского излучения, максимальный поток солнечных протонов и сопутствующие динамические явления в оптическом диапазоне.

На сайте Центра опубликованы электронные версии шести каталогов солнечных протонных событий и их энергетических спектров, подготовленных группой специалистов в области солнечно-земной физики под редакцией Ю. И. Логачева (МЦД по СЗФ). Каталоги содержат систематизированные данные о событиях с генерацией протонов, для которых максимальный поток протонов с энергией более 10 МэВ превышает значение 1 rfu, содержат информацию об источниках частиц и электромагнитном излучении, связанным с этим событием, в пределах доступного диапазона наблюдений. Каталоги охватывают период с 1970 по 2008 г. Для каждого события приведены интегральный энергетический спектр, таблицы и графические изображения протонных потоков (графические изображения только с 1996 по 2008 г.) в максимуме временного профиля интенсивности. Измерения протонного потока проводились на основе данных, зарегистрированных различными космическими аппаратами.

Из шести каталогов солнечных протонных событий первые пять были переведены в электронную форму с бумажного носителя в МЦД по СЗФ в рамках проекта “Сохранение историче-

The image shows two overlapping screenshots of the Earth Science DataBase (ESDB) website. The top screenshot shows the main page for the DOI 10.2205/ESDB-SAD-P-001, titled 'Catalog of Solar Proton Events in the 23rd Cycle of Solar Activity (1996–2008)'. It lists authors: Yu. I. Logachev¹, G. A. Bazilevskaya², E. V. Vashenyuk³, E. I. Daibog¹, V. N. Ishkov^{4,5}, L. L. Lazutin¹, L. I. Miroshnichenko^{4,1}, M. N. Nazarova⁷, I. E. Petrenko⁷, A. G. Stupishin⁶, G. M. Surova¹, O. S. Yakovchouk¹. The editor is Yu. I. Logachev. The abstract describes the catalog as a continuation of previous issues, containing 142 solar proton events (SPE) from 1970. It includes information on data sources, X-ray, optical, and radio emission, and provides download links for the catalog in English and Russian. The bottom screenshot shows a search bar with the DOI 10.2205/ESDB-SAD-P-001 entered and a 'SUBMIT' button.

Рис. 4. Страница сайта центрального репозитория и страница отклика для Каталога солнечных протонных событий (1996 – 2008 гг.) [Логачев и др., 2016] с DOI для цитирования данных.

ских данных”, направленного на увеличение количества данных в электронной форме, предотвращение утраты ценных исторических данных и обеспечение свободного онлайн-доступа к ним для более эффективного использования. Последний каталог [Логачев и др., 2016] содержит данные о 142 протонных событиях, произошедших в 23 солнечном цикле (1996–2008 гг.). Он был подготовлен сразу в электронном виде, используя современные методы организации и представления данных, и для удобства работы снабжен системой ссылок и списков, позволяющих переключаться между отдельными частями каталога и легко находить события и их характеристики [Ишков и др., 2017, Ishkov et al., 2017]. Форма публикации его на сайте Центра является примером применения современного способа организации информации.

Каждому каталогу солнечных вспышечных событий и каталогу солнечных протонных событий присвоен цифровой идентификатор объекта DOI (Digital Object Identifier). В настоящее время активно внедряется правило цитирования научных данных, так же как и научных электронных публикаций [Лукьянова, 2013]. Каждый набор данных с присвоенным DOI становится более доступным для поиска, идентификации и цитирования. Регистрация и публикация данных с присвоением DOI осуществляется

через агентство Crossref [Astapenkova et al. 2016] в рамках проекта “База данных наук о Земле” (Earth Science DataBase – ESDB). Для каждого набора данных при присвоении DOI создается XML-файл метаданных и страница отклика, содержащая описание данных, информацию об авторах, производителях, поставщиках и издателях, URL адрес для загрузки данных и образец для цитирования данных (Рис. 4). Страницы отклика и метаданные хранятся в центральном репозитории.

Если какой-либо набор данных был использован в научной работе и результат работы описан в статье, то при публикации статьи автор делает ссылку на использованный набор данных в соответствии с указанным образцом для цитирования. По указанному в ссылке DOI легко можно найти набор данных через страницу отклика и URL, указанный на этой странице.

Заключение

Текущий 24 солнечный цикл развивается как цикл низкой величины, вспышечная активность которого существенно ниже всех предыдущих солнечных циклов космической эры, и открывает вторую эпоху пониженной солнечной актив-

ности. Пока наши знания о подобной эпохе ограничены наблюдательными данными о первой такой эпохе, которая длилась с 1878 по 1933 г. (5 циклов). В то время наблюдательные данные о Солнце ограничивались числами Вольфа, площадями групп солнечных пятен, временем прихода межпланетных ударных волн – внезапными импульсами и внезапными началами магнитных бурь (SI и SSC) и величиной возмущения геомагнитного поля (*Aa*-индекс).

Мировой центр данных по солнечно-земной физике, сохраняя исторические наборы данных, дополняя их новыми результатами наблюдений, совершенствуя систему управления данными, стремится предоставить ученым простой и удобный доступ к обновленным историческим и современным наборам данных, повысить ценность научных данных, создать условия для их более полного и многократного использования.

Благодарность. Работа выполнена в рамках государственного задания Геофизического центра РАН, утвержденного Минобрнауки России. В работе использовались оборудование и материалы, предоставленные ЦКП “Аналитический центр геомагнитных данных” Геофизического центра РАН (ЦКП ГЦ РАН).

Литература

- Ишков, В. Н., И. Г. Шibaев (2006), Циклы солнечной активности: общие характеристики и современные границы прогнозирования, *Известия РАН. Сер. физ.*, 70, No. 10, 1439–1442.
- Ишков, В. Н., Л. П. Забаринская, Н. А. Сергеева (2017), Современное представление баз данных на примере Каталога солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности, *Геомагнетизм и аэронавигация*, 57, No. 6, 736–743, [Crossref](#)
- Ишков, В. Н. (2013), Периоды “пониженной” и “повышенной” солнечной активности: наблюдательные особенности и ключевые факты, *Солнечная и солнечно-земная физика – 2013*, с. 111–114, ВВМ, Санкт-Петербург. Пулково.
- Логачев, Ю. И., Г. А. Базилевская, и др. (2016), Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996–2008 гг.), *Earth Science DataBase*, 2016, [Crossref](#)
- Лукьянова, Р. Ю. (2013), Включение обсерваторских данных в систему цитирования DOI, *Вестник ОНЗ РАН*, 5, No. NZ9001, [Crossref](#)
- Панасюк, М. И. (2019), *Радиоактивная Вселенная*, 272 с. Век 2, Фрязино.
- Харин, Е. П., Н. А. Сергеева (2007), Золотой фонд наук о Земле, *Земля и Вселенная*, No. 4, 66–71.
- Astapenkova, A. A., E. O. Kedrov, и др. (2016), Data publishing under the “Earth Science DataBase” project, *Geoinformatics Research Papers*, 4, No. BS4002, [Crossref](#)
- Ishkov, V., L. Zabarinskaya, N. Sergeeva (2017), The collection and compile data on SPE for the period 19th–23rd cycles of solar activity, *Солнечная и солнечно-земная физика – 2013*, с. 46–53, Proceedings of Ninth Workshop “Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere”, Sunny Beach, Bulgaria.
- Sergeyeva, N., E. Kharin, и др. (2013), Information about the World Data Centers for Solar-Terrestrial Physics and Solid Earth Physics, regional multidisciplinary initiatives of the Russian-Ukrainian World Data Centers Segment for occurrence in the World Data System, *Data Science Journal*, 12, WDS97–WDS100, [Crossref](#)
- Shibaev, I., V. Ishkov (2012), Investigation of the statistical characteristics of Wolf numbers reliable series: signs of solar cycles likelihood, *Солнечная и солнечно-земная физика – 2013*, с. 297–301, Proceedings of the Seventh Scientific Conference “Space, Ecology, Safety–2011”, Sofia, Bulgaria.

Контакт:

В. Н. Ишков, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, Троицк, Калужское шоссе, д. 4, 108840 (vitish@wdcb.ru)