

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 *Домарев В.В.* Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты информации. – 2008. – С. 508-525. Электронный ресурс: URL: http://domarev.com.ua/d-book-2/ch_25.pdf (дата обращения: 05.08.2013).
- 2 *Чумаков А.А.* Разработка и оптимизация региональной подсистемы технического контроля в интересах обеспечения информационной безопасности. – Воронеж: 5 ЦНИИИ МО РФ, 1999.
- 3 *Царегородцев А.В., Петручук С.О.* Анализ функций защиты для проектирования платформ безопасности: Электронный ресурс: URL: <http://nit.miem.edu.ru/2003/tezisy/articles/129.htm>, (дата обращения: 28.05.2013).
- 4 *Коробов В.Б.* Организация проведения экспертных опросов при разработке классификационных моделей // Социологические исследования. – 2003. – № 11. – С. 102-108.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Ю.О. Чернышев.

Васильев Андрей Евгеньевич – Военная академия связи (филиал г. Краснодар); e-mail: vasandev@mail.ru; 350035, г. Краснодар, ул. Красина, 4; тел.: 89182480113; преподаватель кафедры; соискатель.

Третьяков Олег Павлович – e-mail: tretolog3@mail.ru; тел.: 89181939073; начальник кафедры; к.т.н.

Vasilyev Andrey Evgenevich – Military Academy of Telecommunications (branch Krasnodar); e-mail: vasandev@mail.ru; 4, Krasina street, Krasnodar, 350035, Russia; phone: +79182480113; teacher of the department; applicant.

Tretyakov Oleg Pavlovich – e-mail: tretolog3@mail.ru; phone: +79181939073; head of department; cand. of eng. sc.

УДК 523.985.3

И.А. Скороходов, С.В. Тасенко, П.В. Шатов, И.В. Гецелев, М.В. Подзолко
УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время большое внимание уделяется влиянию на надежность различных систем. Геомагнитные бури оказывают значительное влияние на многие системы, как на Земле, так и в околоземном космическом пространстве. Поэтому весьма важно учесть эти влияния при проектировании различных систем. Наиболее эффективным и оперативным предвестником магнитной бури является приход частиц солнечных протонных событий (СПС). Для прогноза СПС нами была создана база данных, состоящая из ≈ 400 событий за 19–24 циклы солнечной активности.

Анализ данных выявил существенную неравномерность распределения источников СПС по долготе Кэррингтона. Особого внимания заслуживает интервал «пассивных долгот», протяженный по долготе (≈ 90 – 170°).

Геомагнитная буря; солнечное протонное событие; долгота Кэррингтона; пассивные долготы.

I.A. Skorohodov, S.V. Tsenko, P.V. Shatov, I.V. Getseliev, M.V. Podzolko
ACCOUNTING FOR THE EFFECTS OF GEOMAGNETIC STORMS
IN DESIGNING THE VARIOUS SYSTEMS

At present great attention is paid to influence the reliability of the various systems. Geomagnetic storms have a significant impact on many systems, both on Earth and in outer space. Therefore, it is very important to consider these effects in designing the various systems. The most

effective and efficient harbinger of a magnetic storm is a parish of particles of the solar proton events (SPE). For the forecast of the SPE, we have created a database consisting of 400 events for 19–24 solar activity cycles.

Data analysis identified significant unevenness of distribution of the sources of SPE longitude Carrington. Special attention deserves the interval «passive longitude», extensive longitude (approximately 90–170 degrees).

Geomagnetic storm; solar proton event; Carrington longitude; passive longitude.

1. Влияние геомагнитных бурь на различные системы. Геомагнитная буря может длиться от нескольких часов до нескольких суток. Она вызывается взаимодействием с геомагнитным полем заряженных частиц и электромагнитных излучений поступающих из межпланетного пространства. К ним относятся: солнечный ветер, корональные выбросы масс, космические лучи и излучения солнечного и галактического происхождения. От их параметров зависит изменение кольцевого тока, приводящее к возникновению геомагнитных бурь различной мощности.

Геомагнитные бури оказывают значительное влияние на многие системы, как на Земле, так и в околоземном космическом пространстве (ОКП). Поэтому весьма важно учесть эти влияния при проектировании различных систем.

Во время геомагнитных бурь ухудшается радиосвязь, вплоть до полной потери сигнала, радиолокаторы могут фиксировать ложные цели, появляются затруднения в работе систем навигации и связи. Это происходит из-за неравномерного увеличения количества заряженных частиц в ионосфере, в результате чего радиоволны могут поглощаться и искажаться [5].

Потоки протонов и электронов солнечной плазмы приводит к изменению магнитного поля Земли и к возникновению наведенных токов в линиях электропередач, которые замыкаются через заземленные нейтрали силовых трансформаторов [2]. В результате сильной геомагнитной бури 29 апреля 1994 г. на АЭС Maine Yankee был полностью выведен из строя трансформатор сверхвысокого напряжения. 24 марта 1940 г. было выведено из строя 80 % всех магистральных телефонных сетей в Миннеаполисе и временно нарушено электроснабжение в некоторых регионах штатов Новой Англии, Нью-Йорка, Пенсильвании, Миннесоты, Квебека и Онтарио [3].

Также во время геомагнитных бурь наводимая разность потенциалов в протяженных проводниках может достигать сотни ампер и ускорять процесс коррозии металла в нефте- и газопроводах. В приполярных районах геомагнитная активность может доставлять неприятность железнодорожной автоматике [1].

В результате вспышек на Солнце в космическое пространство инжектируются энергичные заряженные частицы: электроны, протоны и ядра. Поток частиц возмущает магнитное поле планеты, из-за чего быстро и сильно изменяются характеристики магнитного поля.

Наиболее эффективным и оперативным предвестником магнитной бури является приход частиц СПС. Поэтому для своевременного прогноза геомагнитной бури очень важно учитывать влияние солнечных вспышек.

Весьма полезным для этих целей является результаты применения метода, разработанного для раннего оповещения о приходе к Земле потоков протонов с энергией порядка 10–100 МэВ после мощных эруптивных событий на Солнце с использованием наблюдательных данных, получаемых глобальной сетью наземных нейтронных мониторов в реальном масштабе времени [4].

Систематическое изучение СПС началось с началом космической эры. На сегодняшний день общие характеристики этого явления известны достаточно хорошо. Тем не менее, предсказание времени появления и мощности единичной солнечной вспышки в настоящее время невозможно.

2. Проблема прогнозирования СПС. Впервые солнечная вспышка и последовавшая за ней через 17 часов сильнейшая геомагнитная буря были зафиксированы Р. Кэррингтоном и Р. Ходжсоном 1 сентября 1859 г. Буря была настолько сильной, что наблюдались электрические токи в телеграфных проводах, индуцированные геомагнитными возмущениями, и полярные сияния на всех широтах. Dst-индекс вариации геомагнитного поля во время бури достигал -1760 нТл. По данным исследований ледяных кернов события такой интенсивности происходят в среднем примерно раз в 500 лет.

Регулярная регистрация солнечных вспышек началась с середины 50-х гг. XX в., вначале при помощи приборов на стратосферных шарах-зондах, и затем при помощи космических аппаратов. К настоящему времени «в первом приближении» основные характеристики солнечных протонных событий известны достаточно хорошо. Это касается состава и энергий инжектируемых частиц, диапазона вариаций величин потоков и времени их прихода на орбиту Земли после начала вспышки на Солнце, а также того факта, что наибольшая мощность и частота солнечных протонных событий наблюдается в периоды максимума 11-летних солнечных циклов (рис. 1). Кроме того, мощность СПС и их частота падают, а энергетические спектры становятся более мягкими в периоды смены знака магнитного поля Солнца, которая происходит вблизи максимума каждого 11-летнего цикла [5, 6].

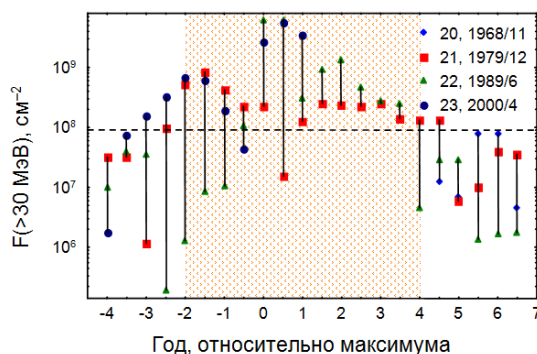


Рис. 1. Годовые флюенсы протонов СКЛ с энергией >30 МэВ в интервале от -2 до $+4$ лет относительно максимума цикла в основном выше, а вне этого интервала — ниже порогового уровня, соответствующего среднему значению логарифма флюенса за весь период наблюдений [6]

Тем не менее, на данный момент предсказание времени появления и мощности единичной солнечной вспышки невозможно. Как следствие, заблаговременность предсказания геомагнитной бури не превышает нескольких часов, которые проходят от начала оптической вспышки на Солнце до прихода инжектированных частиц в область орбиты Земли. Поэтому, существующие на данный момент модели прогнозирования солнечных протонных событий имеют вероятностный характер. Например, в модели [7] используется корреляция средней частоты, величины максимального потока и флюенса (суммарного потока) протонов в СПС и среднего значения числа солнечных пятен R_z .

Для разработки таких моделей прогнозирования СПС нами была создана база данных, которая включает сведения о времени начала и окончания события, источнике инжекции на Солнце и максимальном потоке и флюенсе протонов за событие по данным измерений в области орбиты Земли вне её магнитосферы для ≈ 400 событий за 19–23 и 1-ю половину 24-го цикла солнечной активности. В дан-

ной работе предлагается использовать выявленную с использованием этих данных неравномерность распределения источников инжекции протонов СКЛ на Солнце по долготе Кэррингтона для прогнозирования вероятности возникновения геомагнитных бурь.

3. База данных. В качестве исходных данных были использованы собранные из различных источников сведения о солнечных протонных событиях в 19-м и последующих циклах солнечной активности, а также экспериментальные данные спутниковых измерений потоков энергичных протонов космических лучей на орбите Земли за пределами её магнитосферы.

Данные по 19-му циклу получены с помощью различных способов измерения (наземная аппаратура, шары-зонды, ракеты, первые космические аппараты (КА)), которые в то время проводились не систематически. Многие из характеристик СКЛ определялись косвенными методами по результатам риометрических измерений, а также регистрации геомагнитных возмущений и всплесков радиоизлучения Солнца [8]. По 20-му циклу использовались более достоверные данные об СПС и флюенсах протонов в них из различных источников [9–11], полученные с использованием измерений на борту космических аппаратов.

За период с 1970-х по 2001 гг. мы использовали практически непрерывный ряд измерений потоков межпланетных протонов длительностью ≈ 30 лет, полученных с помощью идентичной аппаратуры на КА серии IMP на околоземной орбите высотой ≈ 35 радиусов Земли, т.е. за пределами её магнитосферы [12]. Наконец, для периода с октября 2001 по апрель 2012 г. мы использовали сведения о среднечасовых потоках протонов с энергией >10 и >30 МэВ, зарегистрированных космическим аппаратом ACE, находящемся в точке либрации L1 системы Солнце-Земля на расстоянии порядка 1,5 млн. км от Земли, которые также имеются в открытом доступе [13].

На основании этих источников нами была составлена база данных по ≈ 400 СПС с 1956 по 2012 гг. (рис. 2). Она содержит сведения о времени СПС, флюенсе солнечных протонов с энергией >30 МэВ за событие, и долготе Керрингтона источника события на Солнце.

Циклы	Начало СПС				Привязка							Ф. >30	
	год	месяц	число	часы	год	месяц	число	часы	минуты	долгота	источник		долгота Керрингт.
	1977	9	19	14	1977	9	19	9	55	58	~NOAA	205.98	1.54E+04
	1977	11	22	13	1977	11	22	9	45	40	~NOAA	63.35	6.62E+07
	1978	2	13	9	1978	2	13	1	15	20	~NOAA	32.53	1.73E+08
	1978	4	11	15	1978	4	11	13	34	56	~NOAA	29.42	8.20E+06
	1978	4	28	21	1978	4	28	13	4	-38	~NOAA	71.32	2.21E+08
	1978	5	7	4	1978	5	7	3	27	72	~NOAA	67.82	1.85E+07
	1978	6	2	6	1978	5	31	10	9	50	~NOAA	85.36	1.95E+04
	1978	6	23	1	1978	6	22	16	43	-16	~NOAA	85.38	3.54E+06
	1978	9	23	10	1978	9	23	9	44	50	~NOAA	7.74	3.92E+08
	1978	11	10	4	1978	11	10	0	48	-1	~NOAA	48.11	3.28E+05
	1979	2	17	20	1979	2	16	1	44	-59	~NOAA	136.12	1.08E+06
	1979	6	6	18	1979	6	5	4	55	-14	~NOAA	180.70	1.77E+07
	1979	8	19	1	1979	8	18	14	21	-90	~NOAA	202.81	8.75E+07
	1979	9	14	18	1979	9	14	8	8	-90	~NOAA	209.86	1.15E+08

Рис. 2. Фрагмент базы данных СПС

За 19-й и 20-й циклы эти сведения брались из указанных выше источников. За период с 1970 по 2012 гг. флюенсы протонов в СПС рассчитаны нами по данным измерений КА IMP и ACE. Предварительно был рассчитан временной ход

фоновых потоков протонов галактических космических лучей (ГКЛ) за указанный период времени по нашей методике [14]. При вычислении флюенсов СПС величина фона вычиталась. Привязка к источникам инжекции протонов на Солнце начиная с 1976 г. бралась из базы данных NOAA [15].

4. Результаты анализа. Анализ, проведённый на данном обширном материале, выявил существенную неравномерность распределения источников солнечных протонных событий по долготе Кэррингтона. Особого внимания заслуживает интервал «пассивных долгот», протяжённый по долготе ($\approx 90\text{--}170^\circ$) и по времени существования (весь период наблюдений) [16].

На рис. 3,а показаны величины и привязки всех СПС за 19–24 циклы солнечной активности, флюенс протонов с энергией >30 МэВ в которых составил $>10^7$ см $^{-2}$. Как видно из графика, за весь рассматриваемый период произошло в общей сложности 60 мощных СПС с флюенсом $\geq 10^8$ см $^{-2}$. И из них только лишь одно СПС 4 ноября 2001 г. имело долготу Кэррингтона источника в интервале $100\text{--}170^\circ$. Из ещё 70 «средних» событий в 19–24 солнечных циклах, флюенс в которых варьировался в интервале $10^7\text{--}10^8$ см $^{-2}$, источники только 10 СПС попали в интервал $100\text{--}170^\circ$.

На рис. 3,б для каждого 10-градусного интервала долгот Кэррингтона рассчитана доля инжектированных из этого интервала протонов с энергией >30 МэВ относительно суммарного флюенса по всем долготам за данное время. Из графика следует, что величины суммарных флюенсов для 10-градусных интервалов внутри «пассивного» интервала долгот $\approx 90\text{--}170^\circ$, без учёта «аномального» СПС 4 ноября 2001, не превышают 5.5 % от средней величины флюенса для всех долгот. Суммарный флюенс для «пассивного» интервала долгот составляет только 1.2 % (и даже с учётом события 4 ноября 2001 – только 5 %) от суммарного флюенса во всех рассматриваемых СПС.

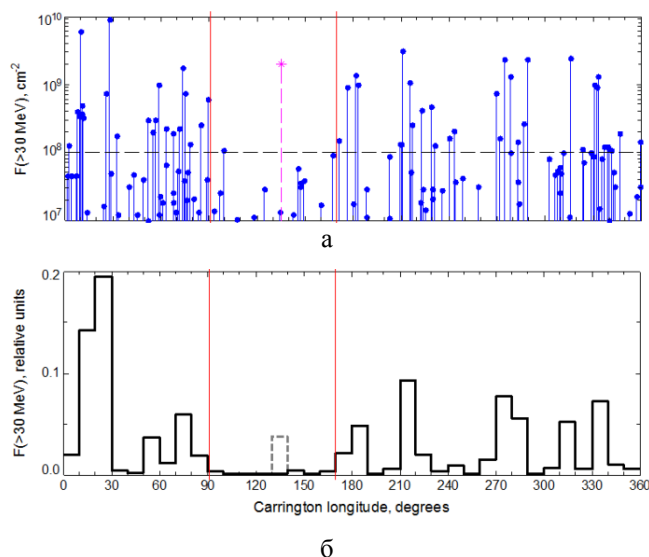


Рис. 3. а – Флюенсы протонов с энергией >30 МэВ в солнечных протонных событиях за 19–24 циклы солнечной активности, значения которых $\geq 10^7$ см $^{-2}$; б – распределение флюенсов протонов с энергией >30 МэВ в СПС в 19–24 циклах по долготе Кэррингтона. Выделен интервал «пассивных» долгот. Единственное «аномальное» сильное СПС за 57 лет, источник которого находился в области пассивных долгот, обозначено пунктиром

Таким образом, из приведённых в этом разделе данных следует, что в обнаруженном нами интервале пассивных долгот Керрингтона $\approx 90\text{--}170^\circ$ за всё исследуемое время происходило очень мало сильных СПС; суммарный флюенс протонов в тех событиях, источники которых находились в этом интервале долгот, существенно ниже, чем суммарные флюенсы протонов в других интервалах гелиодолгот.

Также проведено сопоставление СПС со значениями Dst-вариаций. Для каждого события проведен анализ возникновения магнитной бури в течение четырех суток после начала инжекции на Солнце. Минимальное пороговое значение индекса Dst (по модулю), характеризующее магнитную бурю, принято равное -50.

Результаты анализа показали, что магнитная буря возникает в 56 % случаев, когда происходит СПС.

Выводы. На основе различных источников авторами создана база данных, включающая сведения по ≈ 400 солнечным протонным событиям и флюенсам протонов в них с энергией >30 МэВ за 19–23 и 1-ю половину 24-го цикла солнечной активности. Статистический анализ этих данных выявил наличие пассивного интервала долгот Керрингтона источников инжекции протонов СКЛ на Солнце, протяженного по долготе ($\approx 90\text{--}170^\circ$) и по времени жизни (весь период наблюдений).

Этот результат позволяет прогнозировать интервалы времени, когда вероятность сильных возрастаний потока ионизирующего излучения от Солнца на орбите Земли существенно снижается. Для примера авторами приведены такие интервалы времени в 1-й половине 2013 г.: с 21 по 29 января; с 17 по 24 февраля; с 16 по 23 марта; с 13 по 20 апреля; с 11 по 18 мая; с 8 по 15 июня.

Эти результаты можно использовать для выявления как потенциально магнитноопасных периодов, так и безопасных, что является весьма полезным при проектировании различных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петрукович А.А., Зеленый Л.М. У природы есть и космическая погода // Наука и жизнь. – 2001. – № 10.
2. Гуревич В.И. Силовые трансформаторы тоже подвержены влиянию Солнца // Электротехнический рынок. – 2011. – № 5.
3. Буралков А.А., Кибардин В.В. О влиянии солнечных бурь на надежность энергосистем // Тезисы докладов Международного научно-технического конгресса «Энергетика в глобальном мире», Красноярск, 16–18 июня 2010. – С. 32-33.
4. Веселовский И.С., Яковчук О.С. О прогнозе солнечных протонных событий по данным наземных нейтронных мониторов // Астрономический вестник. – 2011. – Т. 45, № 4. – С. 365-375.
5. Гецелев И.В., Охлопков В.П., Чучков Е.А. Протоны солнечных космических лучей в периоды инверсии полярного магнитного поля Солнца // Вестник МГУ, сер. 3, физика и астрономия. – 2004. – № 3. – С. 25-29.
6. Getselev I.V., Okhlopov V.P., Podzolkov M.V., Chuchkov E.A. Solar cosmic ray fluxes in the Earth's orbit. Proc. of 29th Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena», PGI, Apatity, Russia, 27 February – 3 March, 2006. – P. 179-182.
7. Nymmik R.A. Probabilistic model for fluences and peak fluxes of solar energetic particles // Radiation Measurements. – 1999. – Vol. 30. – P. 287-296.
8. Долгинова Ю.К. Каталог хромосферных вспышек и соответствующих явлений за период с 1957 по 1965 гг. Солнечно-земная физика. Т. 2. – М.: ИЗМИРАН, 1972.
9. King J.H. Solar proton fluences for 1977–1983 space missions // J. Spacecraft & Rockets. – 1974. – Vol. 11. – P. 401-408.
10. Feynman J., Armstrong T.P., Dao-Gibner L., Silverman S. New interplanetary proton fluence model // J. Spacecraft & Rockets. – 1990. – Vol. 27, № 4. – P. 403-410.
11. Акиньян С.Т., Базилевская Г.А., Ишков В.Н. и др. Каталог солнечных протонных событий 1970–1979 гг. Москва, ИЗМИРАН, 1982.

12. <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>.
13. <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>.
14. *Гецелев И.В., Подзолко М.В., Веселовский И.С.* Оптимизация базы данных по потокам межпланетных энергичных протонов и её применение для моделирования радиационных условий // *Астрономический вестник*. – 2009. – Т. 43, № 2. С. 145-151.
15. <http://umbra.nascom.nasa.gov/SEP/>
16. *Getselev I.V., Podzolko M.V., Okhlopkov V.P.* Passive longitudes of solar cosmic ray sources // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2013. – Vol. 409. – P. 012203.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Курейчик.

Скорородов Илья Александрович – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова», г. Москва; e-mail: i.skorohodov@gmail.com; 129128, Москва, ул. Ростокинская, 9; тел.: 89261472940; научный сотрудник.

Тасенко Сергей Викторович – e-mail: tassenko@mail.ru; тел.: 89032422990; заместитель директора по научной работе; к.т.н.

Шатов Павел Викторович – e-mail: p.v.shatov@mail.ru; тел.: 89265820658; ведущий инженер.

Гецелев Игорь Владимирович – e-mail: getselev@mail.ru; тел.: 89165188905; ведущий научный сотрудник; д.ф.-м.н.

Подзолко Михаил Владимирович – e-mail: 404@newmail.ru; тел.: 89057365183; старший научный сотрудник.

Skorohodov Ilya Aleksandrovich – Federal State budgetary establishment “Institute of Applied Geophysics”, Moscow; e-mail: i.skorohodov@gmail.com; 9, Rostokinskaya street, Moscow, 129128, Russia; phone: +79261472940; researcher.

Tasenko Sergey Viktorovich – e-mail: tassenko@mail.ru; phone: +79032422990; deputy director on science; cand. of eng. sc.

Shatov Pavel Viktorovich – e-mail: p.v.shatov@mail.ru; phone: +79265820658; leading engineer.

Getselev Igor Vladimirovich – e-mail: getselev@mail.ru; phone: +79165188905; leading researcher; dr. of phis-math. sc.

Podzolko Michail Vladimirovich – e-mail: 404@newmail.ru; phone: +79057365183; senior researcher.