Надточий Анастасия Сергеевна

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

E-mail: nastya5nadtochii@gmail.cc

Nadtochy Anastasia Sergeevna

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: nastya5nadtochii@gmail.cc

Фомин Дмитрий Владимирович

Амурский государственный университет,

г. Благовещенск, Россия

E-mail: e-office@yandex.ru

Fomin Dmitriy Vladimirovich

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: e-office@yandex.ru

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ

SHORT-TERM SPACE WEATHER FORECASTING BASED ON THE EXPONENTIAL SMOOTHING METHOD

Аннотация. В работе представлена информация о результатах краткосрочного прогнозирования космической погоды для космодрома «Восточный» на основе данных о плотности потока электронов энергиями выше 2 МэВ, полученных от спутников с места оператора Центра прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ. Проведенный анализ расчетных данных уровня околоземной радиации в результате использования различных методов экстраполяции показал, что для краткосрочного прогнозирования космической погоды наиболее эффективен метод экспоненциального сглаживания. Такого рода прогнозы можно использовать при планировании запусков ракет-носителей с космодромов.

Abstract. The paper presents information on the results of short-term space weather forecasting for the Vostochny cosmodrome based on data on the electron flux density with energies above 2 MeV received from satellites from the operator's site of the Space Weather Forecast Center of the Moscow State University Institute of Nuclear Physics. The analysis of the calculated data on the level of near-Earth radiation, as a result of the use of various extrapolation methods, showed that the method of exponential smoothing is most effective for short-term space weather forecasting. Such forecasts can be used when planning launches of launch vehicles from spaceports.

Ключевые слова: космическая погода, околоземная радиация, космодром, методы экстраполяции, метод экспоненциального сглаживания.

Key words: space weather, near-earth radiation, spaceport, extrapolation methods, exponential smoothing method.

Введение

Начиная с 2019 г. Амурский государственный университет является участником программы «УниверСат» госкорпорации «Роскосмос». На сегодня в состав группировки спутников, запущенных по этой программе, входят 7 малых космических аппаратов (КА). Среди них спутник Амурского государственного университета – «АмурСат» («АмГУ-1»), запущенный первым кластером с космодрома «Восточный» 5 июля 2019 г. На борту малого космического аппарата были установлены две полезные нагрузки (ПН): собственная разработка АмГУ прибор «Фотон-Амур» [1,2,3] для изучения фотопреобразователей на основе полупроводниковых силицидов и прибор «ДеКор» Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета (НИИЯФ МГУ) для мониторинга космической радиации [4,5]. Во втором кластере Амурский госуниверситет представлен ПН «Фотон-Амур 2.0», установленной на спутник «Декарт» НИИЯФ МГУ (запущенный 28 сентября 2020 г.), который также несет на своем борту прибор «ДеКор» для регистрации околоземной радиации. Данные, получаемые с приборов «ДеКор» университетской группировки спутников, а также с других спутников, аккумулируются в Центре прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ. С марта 2020 г. в Амурском государственном университете функционирует рабочее место оператора Центра прогноза космической погоды, благодаря этому появилась возможность работать с уникальными данными. Космическая погода, прежде всего радиация, может оказывать решающее воздействие на работоспособность систем и узлов космических аппаратов, поэтому знание о потенциальных угрозах, – например, при запуске ракеты-носителя, представляется очень важным. В рамках данной работы было проведено краткосрочное прогнозирование космической погоды для находящегося в Амурской области космодрома «Восточный» на основе данных о плотности потока электронов энергиями выше 2 МэВ и определен наиболее эффективный метод экстраполяции для поставленной задачи.

Результаты и их обсуждение

В качестве инструмента прогнозирования космической погоды были использованы известные методы экстраполяции: метод экспоненциального сглаживания (или метод Брауна) и метод линейной регрессии [6].

Метод экспоненциального сглаживания (Брауна) наиболее эффективен при разработке среднесрочных прогнозов. Его основные достоинства – простота процедуры вычислений и возможность учета весов исходной информации. Рабочая формула метода экспоненциального сглаживания:

$$U_{t+1} = a \cdot y_t + (1-a) \cdot U_t, \quad (1)$$

где U_{t+1} – прогноз на следующий период $t+1$; y_t – значения, применяемые для прогноза за текущий период t ; a – коэффициент сглаживания ряда, $0 < a < 1$; U_t – экспоненциально взвешенная средняя для периода, предшествующего прогнозному [6].

Также для прогнозирования космической погоды можно применить метод линейной регрессии. Он используется в тех случаях, когда необходимо выяснить общую тенденцию изменения, не имея времени на поиск данных об уровнях влияния отдельных факторов. Исходными данными в этом случае будет динамический ряд, состоящий только из двух элементов (времени и изменяющегося показателя в течение недели).

Для вычисления прогноза применяется линейное уравнение:

$$y = b \cdot x + a, \quad (2)$$

где y – исследуемая переменная; x – число, определяющее позицию времени в периоде прогнозирования; b – угловой коэффициент, который находят с помощью метода наименьших квадратов (на основании чисел, определяющих позицию времени в периоде прогнозирования и исследуемых переменных); a – константа, точка, в которой график пересекается с осью исследуемых переменных [7].

Для решения задачи составления краткосрочного прогноза был использован пакет MS Excel, который позволил сгенерировать значения на основе введенных данных. Расчет прогноза для района космодрома «Восточный» составлялся 1 марта 2021 г. по данным, полученным за предшествующую неделю. В результате получены графики, представленные на рис.1-4.

Рис. 1. Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом линейной регрессии на 2 марта 2021 г. и на основе данных, полученных от КА на эту же дату.

Рис. 2. Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 2 марта 2021 г. и на основе данных, полученных от КА на эту же дату.

Рис. 3. Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом линейной регрессии на 7 марта 2021 г. и на основе данных, полученных от КА на эту же дату.

Рис. 4. Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 7 марта 2021 г. и на основе данных, полученных от КА на эту же дату.

Сравнивая расчетные значения плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ и значения, полученные позже от спутника, можно увидеть, что прогнозирование методом экспоненциального сглаживания показало большую сходимость результатов, чем прогнозирование методом линейной регрессии. Анализируя представленные в работе графики, нетрудно заметить, что формы кривых прогнозирования, построенные по методу Брауна, более близки к форме кривых, данными для которых послужили значения, полученные позже от космического аппарата.

Таким образом, анализ расчетных данных прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ с использованием различных методов экстраполяции показал, что для проведе-

ния краткосрочного прогнозирования космической погоды наиболее эффективен метод экспоненциального сглаживания. Такого рода прогнозы можно использовать при планировании запусков ракет-носителей с космодромов.

1. Универсальная платформа полезной нагрузки для малых спутников стандарта CubeSat / Д.В. Фомин, Д.О. Струков, А.С. Герман // Известия вузов. Приборостроение. – 2018. Т. 61, № 5. – С. 185-189.
2. Modeling of threedimensional inhomogeneous thermal fields of nanosatellite electronic boards, electronic / M.A. Barulina, A.V. Golikov, D.V. Fomin, D.O. Strukov // Information Systems. – 2018. – № 2 (17). – P. 22.
3. Многофункциональный блок полезной нагрузки наноспутника формата CubeSat 3U / Д.В. Фомин, Д.О. Струков, Р.А. Бузиков // Патент на полезную модель 201712 U1, 29.12.2020. Заявка № 2020116900 от 12.05.2020.
4. The development of the medium energy charged particles detector for cubesat space missions / V.L. Petrov, M.I. Panasyuk, S.E. Kochepasov, V.I. Osedlo, S.A. Filippychev, M.V. Podzolko and V.V. Bengin // Advances in the Astronautical sciences. – 2020. –173: AAS 20-274.
5. Первый опыт мониторинга космической радиации в мультиспутниковом эксперименте Московского университета в рамках проекта «Универсат-СОКРАТ» /В.В. Богомолов, А.В. Богомолов, Ю.Н. Дементьев, В.Е. Еремеев, Ю.К. Зайко, В.В. Калегает, П.А. Климов, В.И. Оседло, М.И. Панасюк, В.Л. Петров, О.Ю. Перетяшко, М.В. Подзолко, С.И. Свертилов // Вестник МГУ. Серия 3. «Физика. Астрономия». – 2020. – № 6. – С. 135-141.
6. Использование метода экспоненциального сглаживания в рамках прогнозирования финансовых результатов / Е.А. Лукина, Н.М. Квач // Вектор. – 2017. – № 1. – С. 65-66.
7. Исследование алгоритма линейной регрессии и прогнозирования в Deductor Studio / Е.Б. Мазиков, К.С. Шевцова // Научно-практические исследования. – 2019. № 8-7 (23). – С. 108-109.