

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет инженерно-физический
Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов
Направление подготовки 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика
Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зам. зав. кафедрой
В. В. Соловьев

« 15 » июня 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Оперативный мониторинг околоземной радиации на основе данных полученных от группировки университетских спутников

Исполнитель
студент группы 717-об

 14.06.2021
(подпись, дата)

Надточий А. С.

Руководитель
канд. физ.- мат. наук, доцент

 14.06.2021
(подпись, дата)

Фомин Д. В.

Консультант по БЖД
канд. физ.-мат наук

 14.06.2021
(подпись, дата)

Аверьянов В.Н.

Нормоконтроль
ассистент кафедры СиТРК

 14.06.2021
(подпись, дата)

Аревкин М.А.

Благовещенск 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет инженерно-физический
Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов

УТВЕРЖДАЮ
Зам. зав. кафедрой


подпись В.В. Смоллов
И.О.Фамилия

«26» апреля 2021 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Надточий Анастасии Сергеевны

1. Тема выпускной квалификационной работы: оперативный мониторинг околоземной радиации на основе данных полученных от группировки университетских спутников

(утверждена приказом от 05.04.2021 № 658-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы(проекта): 15.06.2021 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: научные статьи, публикации о космической погоде и прогнозированию околоземной радиации, официальный сайт прогнозирования космической погоды НИИЯФ МГУ.

4. Содержание выпускной квалификационной работы: общие сведения о космической погоде, специальная часть, охрана труда, экономическая часть.

5. Перечень материалов приложения: титульный лист, спутник Декарт, спутник АмурСат (АмГУ-1), алгоритм работы оператора центра космической погоды АмГУ, методы прогнозирования космической погоды, графики суточного прогноза, графики недельного прогноза на 2 марта, графики недельного прогноза на 7 марта, заключение.

6. Консультанты по БЖД: Аверьянов Владимир Николаевич, канд. физ.- мат. наук.

7. Дата выдачи задания: 26.04.2021 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Фомин Дмитрий Владимирович, директор НОЦ АмГУ, канд. физ.- мат. наук, доцент

Задание принял к исполнению (дата): АМФ 26.04.2021 г.

РЕФЕРАТ

Настоящая бакалаврская работа содержит 70 с., 14 рисунков, 14 таблиц, 3 приложения, 27 источников.

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ, КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, РАДИАЦИОННЫЕ ПОЯСА, ЭНЕРГИЯ

Космическая погода – совокупность различных явлений, происходящих в верхних слоях земной атмосферы, а, так же данные о состоянии Солнца и данные о потоках частиц, о межпланетном магнитном поле. Солнечная радиация является большой угрозой как для космонавтов, так и для космических аппаратов, поэтому спутники тщательно защищают различными способами от потока заряженных частиц. Также радиоактивное излучение представляет особую опасность при пусках ракет – носителей и выведении полезного груза на орбиту. Для того чтобы избежать серьезных последствий при выводе КА на орбиту можно планировать запуски РН с учетом солнечной активности. Для решения данной проблемы в выпускной квалификационной работе были представлены методы прогнозирования космической погоды и математические модели, описывающие эти методы.

Основная цель – поиск эффективных методов для прогнозирования значений плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ на основе данных Центра прогноза космической погоды.

Задачи:

1. провести анализ факторов космической погоды существенно влияющих на космическую технику;
2. изучить методы экстраполяции, применимые к краткосрочному прогнозированию космической погоды;

3. провести исследования по определению наиболее эффективного метода экстраполяции для суточного прогнозирования значений плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ;

4. провести исследования по определению наиболее эффективного метода экстраполяции для недельного прогнозирования значений плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
Перечень сокращений и обозначений	10
1 Общие сведения о космической погоде	11
1.1 Факторы космической погоды и их влияние на жизнедеятельность человека	13
1.1.1 Галактические космические лучи	15
1.1.2 Солнечные космические лучи	16
1.1.3 Частицы радиационных поясов Земли	18
1.1.4 Ионизирующее электромагнитное излучение солнца	20
1.2 Космические аппараты и программное обеспечение для регистрации факторов космической погоды	21
1.3 Проблемы и методы прогнозирования космической погоды	23
1.3.1 Проблемы диагностики и прогноза космической погоды	25
1.3.2 Методы прогнозирования космической погоды	29
2. Специальная часть	35
2.1 Технологическая карта	35
2.1.1 Сбор данных с официального сайта прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ	36
2.1.2 Прогнозирование космической погоды при помощи функционала Microsoft Excel	39
2.2 Практическое исследование методов для построения суточных прогнозов космической погоды	41
2.2.1 Прогнозирование методом экспоненциального сглаживания	42
2.2.1 Прогнозирование методом линейной регрессии	45
2.2 Практическое исследование методов для построения недельных прогнозов космической погоды	49

2.2.1 Прогнозирование методом экспоненциального сглаживания	49
2.2.1 Прогнозирование методом линейной регрессии	53
3. Охрана труда	58
3.1 Основные вредные факторы при работе с ПК	58
3.2 Общие требования к организации и оборудованию рабочего места	58
3.3 СанПин: гигиенические требования при работе за компьютером	59
3.4 Требования к помещению при работе за компьютером	59
3.5 Правила безопасности при работе на компьютере	59
4. Экономическая часть	62
Заключение	65
Примечания	67
Библиографический список	68
Приложение А	71
Приложение Б	72
Приложение В	73

ВВЕДЕНИЕ

Наша жизнь тесно связана с космической деятельностью. Мобильная связь, интернет, телевидение, радио, все это обеспечивают нам спутники. Но космическое пространство не такое уж и безобидное. Радиация в около наземном пространстве может разрушить то, к чему мы привыкли каждый день. Потоки заряженных частиц оказывают значительное влияние на работу космических аппаратов, выводя их из строя. Поэтому спутники, особенно геостационарные, так как они находятся на высоких орбитах, а, следовательно, облучаются больше, так тщательно защищают от воздействия космической радиации. Опасность радиоактивного излучения заключается в деградации микросхем, страдает бортовая электроника, это приводит к преждевременному выходу из строя космического аппарата.

Изучение космической погоды является достаточно актуальной, так как потоки заряженных частиц, в основном протонов, и электромагнитные излучения оказывают большое влияние на человеческую деятельность в космосе и на Земле.

При повышенной солнечной активности на Земле появляются магнитные бури-изменения в строении магнитного поля Земли. Когда в ближнем космосе космические аппараты переживают радиационные бури, могут наблюдаться нарушения радиосвязи. Также увеличение потока заряженных частиц вызывают генерацию внутри земных токов. Они усиливаются во время магнитных бурь и выводят из строя линии электропередач, трансформаторы и средства наземной связи и вызывают повышенную коррозию нефте- и газопроводов.

Так, например, в 2003 наблюдалось самое большое количество выбросов корональных масс - быстрых потоков протонов и электронов.

Такие возмущения повлекли за собой ряд последствий негативно повлиявших на жизнедеятельность людей. Шведский энергетический концерн Sydkraft AB сообщил о сильных геомагнитно-индуцированных токах, которые вызвали

отключение энергосетей в Северной Европе. В октябре-ноябре 2003 года по заключению Федеральной авиационной администрации США, GPS-система WAAS была отключена в течение 30 часов. Радиоактивное излучение представляло опасность и для космонавтов на МКС, они были вынуждены перейти в специальный защищенный отсек. Также из – за высокого риска облучения пассажиров, авиакомпании отменяли рейсы или изменяли маршруты трансполярных полетов.

К примеру, в 2003, 2005, 2006 годах более 60 рейсов изменили свой маршрут, каждый совершенный маневр обошелся в 10 – 100 тысяч долларов. В то же время космические аппараты испытывали аномалии в работе аппаратуры. Предположительно именно это стало причиной потери спутника ADEOS-2 стоимостью \$640 млн, на его борту находилась аппаратура NASA стоимостью \$150 млн. По данным GSFC Space Science Mission Operations Team, 59% миссий подверглись влиянию космической погоды.

Для того чтобы избежать серьезных последствий, вызванных быстрыми потоками заряженных частиц, существует система сбора данных космической радиации. Далее уже по этим данным делаются прогнозы на ближайшее время, которые дают оценку риска тем или иным космическим миссиям.

Под прогнозом геоэффективных солнечных явлений понимается совокупность всех видов прогнозов, в задачу которых входит расчет развития процессов и явлений, происходящих в солнечной атмосфере и непосредственно влияющих на электромагнитную, радиационную и геомагнитную обстановку в ОКП на заданные интервалы времени. [9]

Таким образом изучение космической погоды является актуальной на сегодняшний день и поэтому целью данной работы является поиск эффективных методов для прогнозирования значений плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ на основе данных Центра прогноза космической погоды.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. провести анализ факторов космической погоды существенно влияющих на космическую технику;
2. изучить методы экстраполяции, применимые к краткосрочному прогнозированию космической погоды;
3. провести исследования по определению наиболее эффективного метода экстраполяции для суточного прогнозирования значений плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ;
4. провести исследования по определению наиболее эффективного метода экстраполяции для недельного прогнозирования значений плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АО – Активные области;
- ВСВ – Выброс солнечного волокна;
- ГКЛ – Галактические космические лучи;
- ИЭИ – Ионизирующее электромагнитное излучение;
- ИСЗ – Искусственный спутник Земли;
- КП – Космическая погода;
- КД – Корональные дыры;
- КК – Коэффициент корреляции;
- КВМ – Корональные выбросы массы;
- КОВ – Коротящая область взаимодействия солнечного ветра;
- ММП – Межпланетное магнитное поле;
- ОКП – Околоземное космическое пространство;
- РН – Ракето – носитель;
- РПЗ – Радиационные пояса Земли;
- СКЛ – Солнечные космические лучи;
- СЭС – Солнечные электронные события;
- СВ – Солнечный ветер.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЕ

"Космической погодой" называют совокупность явлений, происходящих в верхних слоях земной атмосферы, а, так же данные о состоянии Солнца и данные о потоках частиц, о межпланетном магнитном поле. [2]

Среди явлений космической погоды одним из наиболее опасных является радиация – быстрые потоки заряженных частиц.

Источником космической погоды является в основном солнце. К ним относят электромагнитное излучение Солнца и потоки солнечной плазмы, которые обладают магнитным полем, создающим в околоземном космическом пространстве различные физические процессы, оказывающие значительное влияние на бортовые системы космических аппаратов.

Высокая солнечная активность наступает каждые 11 лет. В этот период очень много солнечных вспышек и корональных выбросов масс - вылетевших в космос с огромной скоростью плотных сгустков плазмы. [1]

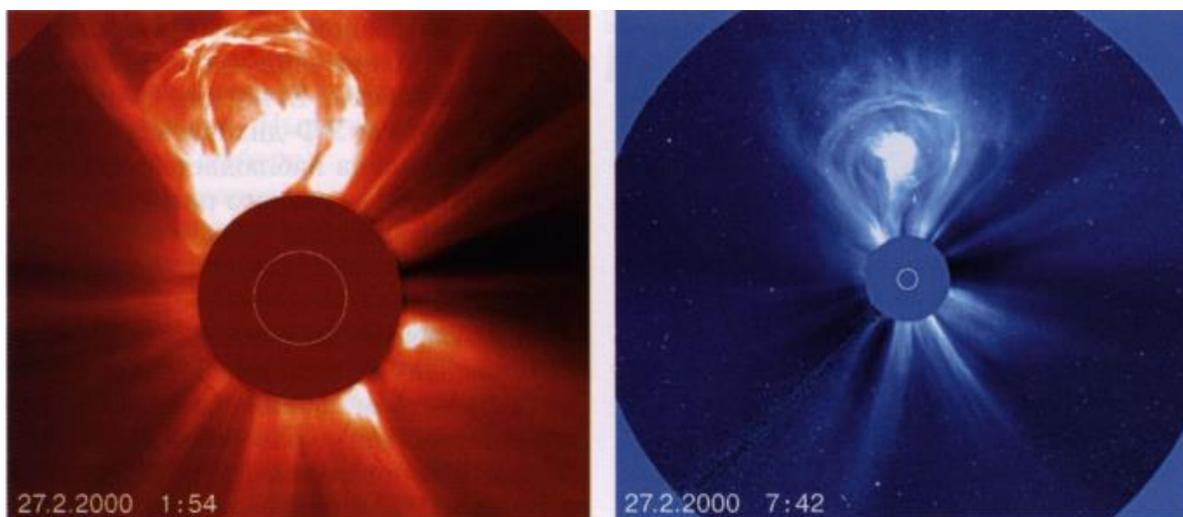


Рисунок 1 – Корональный выброс массы, зафиксированный коронографами LASCO орбитальной обсерватории SOHO [3]

Летающие со стремительно большой скоростью частицы удерживает магнитное поле Земли, тем самым защищая ее от пагубного воздействия солнечной радиации. Магнитосфера земли формирует радиационные пояса. Они постоянно

меняют свое положение в космическом пространстве. Радиационные пояса делятся на внутренние, расположенные на высоте 4000 км, и внешние на высоте 17000 км. Также РП различают по составу частиц: внутренний состоит в основном из протонов с энергиями в сотни МэВ, внешний содержит электроны с энергиями 100 – 1000 КэВ.

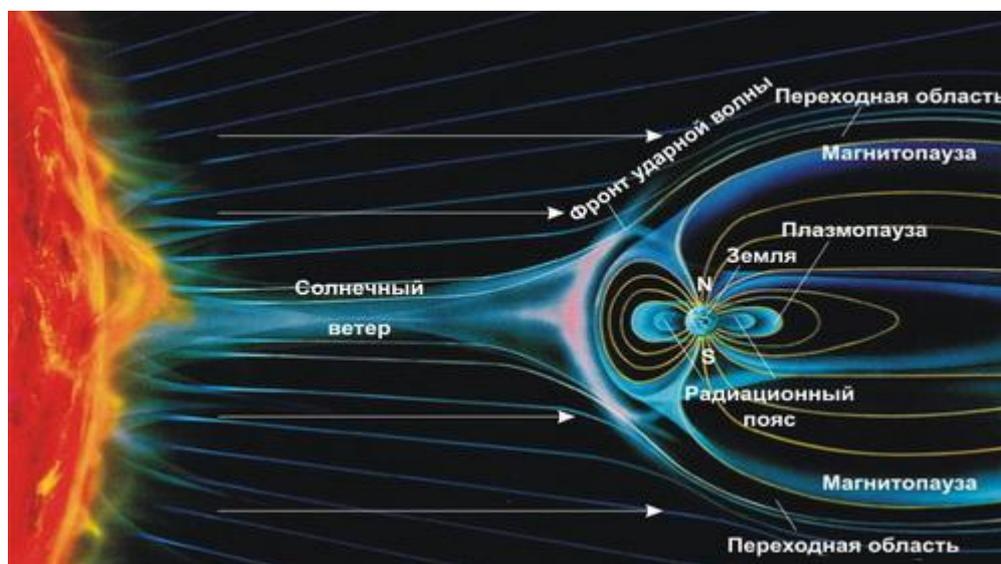


Рисунок 2 – Магнитосфера Земли и радиационные пояса [4]

По направлению к полюсам толщина внутреннего пояса и его высота над земной поверхностью постепенно уменьшаются. На высоте 320 – 350 км находятся магнитные аномалии – области с повышенной радиацией. Самый интенсивный радиационный фон внутреннего пояса Земли находится на высоте 3,4 – 3,5 тыс. км. В таком поясе в основном преобладают протоны с энергией 10 – 100 МэВ – миллионов электрон-вольт; максимум – 600 МэВ. Средняя концентрация протонов на высоте примерно 3,5 тыс. км равна 20 тыс. протонов, проходящих через 1 см²/сек. Составляющей внутреннего радиационного пояса является и электроны с энергиями 20 – 100 тыс. эВ. (кэВ) и в количестве примерно, 10 миллионов в 1 секунду. [6]

Во внешнем радиационном поясе находятся электроны с энергией 400 – 500 кэВ. Ближе к полюсам высота этого пояса резко уменьшается, границы пояса подвижны и зависят от солнечных и иных магнитных возмущений.

Разделение зарядов на слои и образование радиационных поясов Земли происходит под действием акусто – магнитоэлектрического эффекта, заключающегося в том, что коротковолновое излучение Солнца, проходя через плазму поперек силовых линий магнитного поля Земли, производит сортировку зарядов по энергетическому состоянию на разные уровни. [5]

Обычно электроны с большой энергией $E > 1 - 5$ МэВ распределены во внешнем поясе, а электроны с меньшей энергией 1 МэВ захватывают почти всю магнитосферу. В основном внутренний радиационный пояс стабилен, тогда как внешний подвергается резким колебаниям. [7]

Захваченные в магнитную ловушку Земли частицы под действием силы Лоренца совершают колебательное движение по спиральной траектории вдоль силовой линии магнитного поля из Северного полушария в Южное и обратно. Одновременно частицы совершают более медленное перемещение (долготный дрейф) вокруг Земли. Когда частица движется по спирали в сторону увеличения магнитного поля (приближаясь к Земле), радиус спирали и её шаг уменьшаются. Вектор скорости частицы, оставаясь неизменным по величине, приближается к плоскости, перпендикулярной направлению поля. Наконец, в некоторой точке (её называют зеркальной) происходит «отражение» частицы. Она начинает двигаться в обратном направлении – к сопряжённой зеркальной точке в др. полушарии. [5]

1.1 Факторы космической погоды и их влияние на жизнедеятельность человека

Космическая радиация и геомагнитные возмущения являются основными факторами космической погоды. Космическая радиация, в свою очередь, подразделяется на солнечные космические лучи (СКЛ), частицы радиационных поясов Земли (РПЗ), потоки галактических космических лучей (ГКЛ), и ионизирующее электромагнитное излучение (ИЭИ) Солнца. Они являются прямыми поражающими факторами. Геомагнитные возмущения относятся к косвенным и только увеличивают силу воздействия основных факторов.

Спутники подвержены влиянию факторов космической погоды. В таблице 1 описаны проблемы КА, возникающие посредством влияния факторов космической погоды. Знаком «+» отмечены факторы, имеющие прямое воздействие, «-» – косвенное.

Таблица 1 – Проблемы воздействия факторов космической погоды на КА, связанных с радиоактивным излучением [1]

Проблемы	Факторы				Геомагнитные бури	Геомагнитные суббури
	Галактические космические лучи	Радиационные пояса земли	Солнечные космические лучи	Ионизирующее электромагнитное излучение		
Радиационная доза	+	+	+		-	
Электризация		+				-
Деградация материалов	+	+	+	+	-	
Объемный заряд		+				-
Одиночные сбои в электронике	+	+	+		-	
Нарушение ориентации			+		+	
Потеря высоты			+			
Нарушение радиосвязи			+		+	+

1.1.1 Галактические космические лучи

ГКЛ представляют собой потоки заряженных частиц, включающие в себя протоны 85%, ядра гелия 10% и незначительную часть других ядер. Энергия этих частиц насчитывается от 10^6 до 10^{20} эВ. [6]

Взрывы сверхновых звезд образуют галактические космические лучи. Космические лучи, образованные в последствие таких взрывов, обладают большой энергией. Также источником ГКЛ служит солнце, особенно при пике его активности, но величина энергии является не значительной по сравнению с излучением, пришедшем из галактики, она не превосходит 10^9 эВ.

Галактические космические лучи обладают довольно большой энергией $E > 10$ МэВ, и поэтому входят в группу прямых поражающих факторов космической погоды. Такой источник является особо опасным для космонавтов и пассажиров авиAPERелетов.

Летающие со стремительно большой скоростью протоны попадают в полупроводниковые микросхемы бортовых систем КА, следовательно, ГКЛ вызывают ударную ионизацию и выделяется неконтролируемая энергия. Из – за этого происходят одиночные сбои в аппаратуре спутника, что приводит к выводу из строя отдельных элементов КА.

Интенсивность ГКЛ в ОКП модулируется солнечной активностью, которая максимальна в минимуме солнечного цикла и минимальна в его максимуме (рисунок 3). Соответственно, и регистрируемая частота единичных сбоев (SEE) также максимальна в период минимума солнечной активности. Такую зависимость интенсивности ГКЛ от солнечной активности необходимо учитывать при планировании всех пилотируемых космических миссий – от околоземных до межпланетных, а также при эксплуатации спутниковых систем. [1]

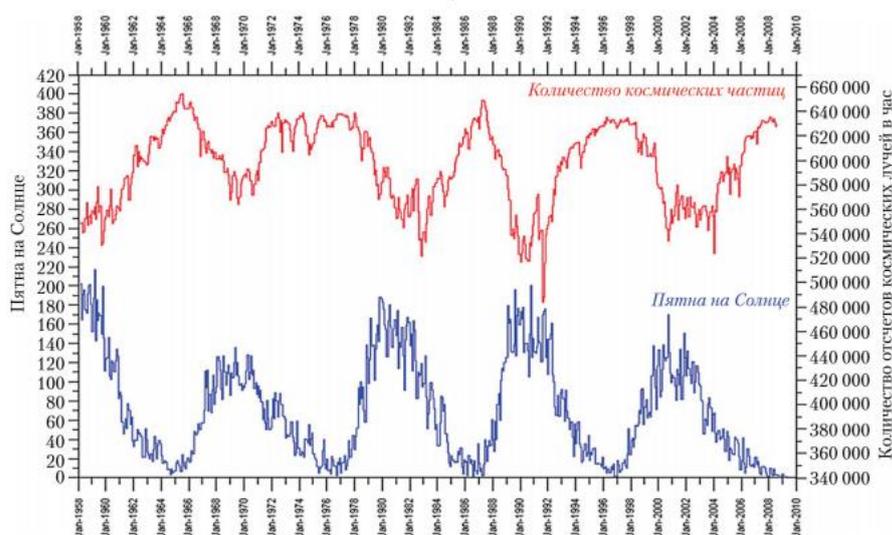


Рисунок 3 – Корреляция повышенных потоков галактических космических лучей с минимумами солнечной активности [1]

1.1.2 Солнечные космические лучи

Солнечные космические лучи (СКЛ) – Быстрые заряженные частицы (электроны, протоны, ядра), возникшие при мощных вспышках на Солнце. Основным источником является выброс корональных масс солнца или распад протуберанца (волокна).

Верхний предел энергии частиц СКЛ достигает $2 \cdot 10^{10}$ эВ, а нижний варьируется в пределах $10^5 - 10^6$ эВ. [7]

Солнечные космические лучи, проникая в геосферу Земли, оказывают радиационную опасность для космонавтов и пассажиров авиаперелетов, увеличивают количество одиночных сбоев в работе электроники спутников, нарушают работу оптической и электронной аппаратуры спутников, радиосвязь и вызывают истощение озонового слоя в полярных регионах. Активность СКЛ трудно предсказать. В период солнечного цикла может происходить десятки мощных событий СКЛ.

В октябре 2003 г. потоки ускоренных солнечных протонов от экстремального события на Солнце воздействовали на спутник SOHO, который находился за пределами магнитосферы Земли и не был ею защищен. Частицы попали в детекторы CCD-матрицы и спутник «ослеп» – изображение Солнца было покрыто

«снегом», в то время как спутник КОРОНАС-Ф находился внутри магнитосферы, был защищен ею от потоков ускоренных солнечных частиц, и получил качественное изображение этого экстремального события [1]

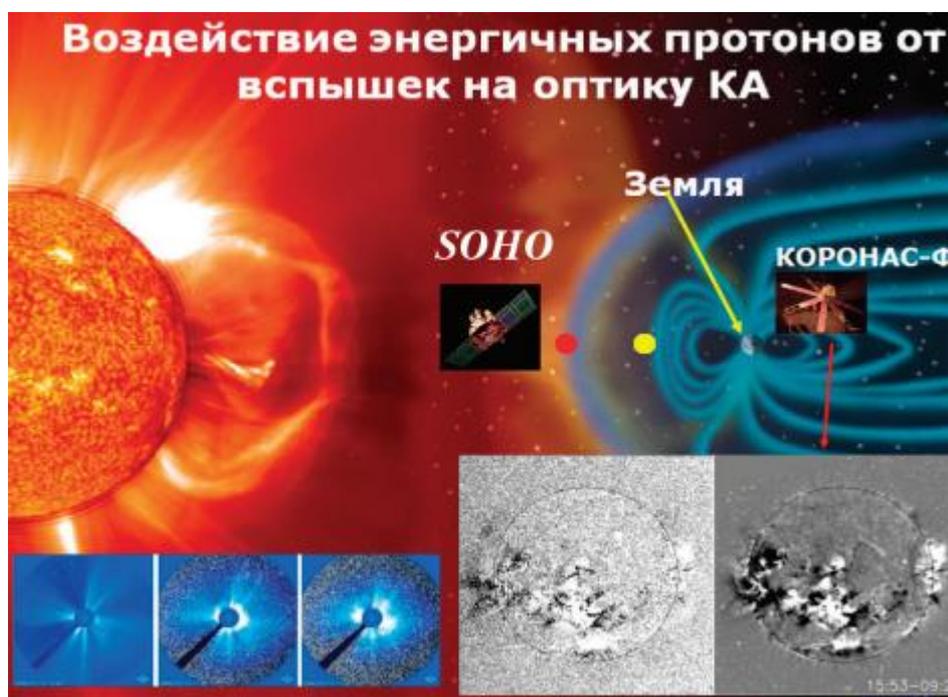


Рисунок 4 – Воздействие солнечных энергичных протонов на оптическую аппаратуру спутников [1]

Попадая в оптические звездные датчики (CCD-матрицу), солнечные протоны вызывают такой же эффект, как обычные фотоны, и дают изображение, подобное звезде, на которую настроена ориентация. [1] В таком случае на спутнике нарушается система ориентации и он начинает вращаться по всем осям.

Во время повышенной солнечной активности и больших выбросов корональных масс могут происходить сбои и даже потеря геостационарных спутников, обеспечивающих мобильную связь, телевидение и прочее. Это связано с тем что магнитосфера земли постоянно меняется. На рисунке 4 красной точкой обозначена внешняя граница магнитосферы, она может поджиматься в пределах от 10 до 5 земных радиусов. При таком смещении геостационарные спутники остаются без защиты магнитного поля Земли. Такие события происходят не часто, но являются опасными и могут вывести из строя большое количество космических

аппаратов. Для предупреждения таких случаев и необходимы прогнозы, которые в настоящее время не такие совершенные.

В период солнечного цикла большие потоки СКЛ, проникающие в геосферу Земли, могут вызвать сбои в работе бортовой системы КА при осуществлении запусков ракет-носителей. СКЛ могут вызвать потерю данных в системе управления РН и повлиять на надежность запуска.

В сентябре 2001 г. запуск спутника Kodiak Star был отложен, по крайней мере, на 24 ч из-за сильной солнечной вспышки, которая произвела поток протонов, превышающий допустимый. [1]

В приполярных областях земного шара солнечные энергичные протоны помимо радиационной опасности для пассажиров высотной авиации вызывают аномальную ионизацию ионосферы, которая приводит к явлению ПППШ (поглощение в полярной шапке) – сильному поглощению радиоволн и замиранию радиосвязи на коротких волнах (до 10 суток и более), влияющему на навигацию и связь с авиационными экипажами. В январе 2005 г. по причине возмущенной космической погоды в течение нескольких дней 26 авиарейсов United Airlines были перенаправлены в облет полюса по неоптимальным маршрутам, чтобы избежать рисков, связанных с потерей высокочастотной связи во время явлений ПППШ. В результате увеличения длительности полета и дополнительных посадок из-за изменения маршрута возросли расход топлива и стоимость перелетов, нарушились пересадки между рейсами. [1]

1.1.3 Частицы радиационных поясов Земли

Частицы радиационных поясов Земли имеют не такое пагубное воздействие на космическую технику, как галактические космические лучи, потому что обладают значительно меньшей энергией. Но все равно частицы РП нарушают работу автоматики спутника, пагубно воздействуют на обшивку КА, в том числе РП влияют на жизненный цикл солнечных батарей. Также РПЗ являются источником радиационного облучения космонавтов.

Так же, как и солнечные космические лучи и ГКЛ, энергичные протоны внутреннего радиационного пояса попадают в бортовую систему спутников, и

приводят к одиночным сбоям в их работе. В последствие чего выходят из строя полупроводниковые приборы, элементы бортовой памяти, оптические приборы, включая звездные датчики ориентации, и т. д.

Радиоактивно опасными зонами для КА являются области Южной Атлантической аномалии и полюса Земных полушарий. Фоновые значения потоков радиации в таких зонах могут в сотни раз превышать фоновые значения радиации в других регионах земного шара. Нижняя граница внутреннего радиационного пояса в области Южной Атлантической аномалии находится на высоте всего 250 км.

Электроны низких и средних энергий (кэВ – десятки кэВ), взаимодействуя с поверхностью спутника, выбивают электроны и создают большой поверхностный заряд, порождая электрические поля и разряды между отдельными частями обшивки спутника, приводящие к электромагнитным помехам, искажению электронных сигналов и сбоям в работе аппаратуры. Проникая внутрь спутника, электроны высоких энергий (более 100 кэВ - до 1 МэВ и более) создают объемный заряд спутника, вызывают пробой диэлектриков и нарушают работу бортовой электроники. Эти эффекты являются основной причиной нарушения работы спутников на геостационарной орбите. [1]

В январе 1994 г. два канадских спутника связи на геостационарной орбите вышли из строя. 20 января 1994 г. спутник Telesat's Anik E1 в течение 7 ч не работал из-за повреждения его управляющей электроники разрядом электрического заряда, созданного внутри спутника проникшими туда высокоэнергичными электронами. Эти электроны возникли в магнитосфере неделей раньше, когда Земля попала в поток высокоскоростного ветра. Из-за этого повреждения 100 газет и 450 радиостанций в Канаде не получили новости, 40 компаний прервали телефонное обслуживание. Сразу после того, как работа спутника E1 была восстановлена, выключился аналогичный спутник Anik E2, что привело к прекращению телевещания и передачи данных более чем 1600 отдаленных компаний. Резервные системы спутника были также разрушены, потери составили

\$290 млн. Примерно 100000 домашних спутниковых антенн пришлось переориентировать вручную на другие спутники. На восстановление работы спутника Anik E2 потребовалось шесть месяцев. Общие потери от аварии спутника E2, включая стоимость ремонта и неоказанных услуг, составили \$50–70 млн. Аналогичные аномалии со спутниками из-за влияния космической погоды произошли в январе 1997 г. (Teslar 401), в мае 1998 г. (спутники Equator-S, Polar и Galaxy-IV). В периоды больших потоков СКЛ эффективность солнечных батарей некоторых космических аппаратов уменьшалась более, чем на 30%, сокращая время жизни спутника на несколько лет. [1]

1.1.4 Ионизирующее электромагнитное излучение Солнца

В околоземном космическом пространстве является опасным геомагнитные возмущения и бури. В такие периоды сильно возрастает радиационный фон, негативно влияющий на космонавтов, электронику КА, возникает ионосферная неоднородность, которая влечет за собой нарушение радиосвязи и спутниковой связи, нарушение или ухудшения точности спутниковой навигации. Также геомагнитные возмущения влияют на запуски спутников, возможно и аномальное торможение спутников. При геомагнитных бурях происходит генерация индуцированных токов, например, отключение наземных линий электропередач.

В период геомагнитной бури происходит перестройка магнитного поля Земли. В результате частицы ГКЛ и СКЛ с легкостью проникают в магнитосферу Земли.

Помимо этого, возможен прямой захват радиоактивных частиц из космического пространства в магнитосферу Земли. Такой процесс влечет за собой возникновение нового радиационного пояса, который может просуществовать несколько месяцев.

24 марта 1991 г., когда после магнитной бури в магнитосфере Земли образовался новый радиационный пояс, который просуществовал до сентября 1991 г., увеличив в несколько раз радиационную нагрузку на борту орбитальной станции «Мир». Особенно опасно сочетание начала магнитной бури с приходом к Земле СКЛ от мощного протонного события на Солнце, как это было, например,

6–7 апреля и 15–16 июля 2000 г., когда во время магнитных бурь мощные потоки СКЛ проникли в магнитосферу и атмосферу Земли вплоть до средних широт, где наблюдалось красное свечение ночного неба, вызванное вторжением в атмосферу энергичных протонов. Аналогичная ситуация имела место в октябре–ноябре 2003 г., когда во время последовательной серии солнечных вспышек и магнитной бури СКЛ проникли на орбиту МКС. [1]

В периоды сильных магнитных бурь МКС теряет высоту орбиты быстрее обычного, в целом примерно на 7–10 км. Возникает необходимость поднятия орбиты и доставки топлива на МКС, что требует времени и дополнительных затрат. В период Квебекского события 1989 г. американская спутниковая система определения местоположения была парализована, так как многие спутники вследствие аномального торможения изменили параметры своих орбит, некоторые из них были потеряны. Изменения плотности атмосферы вдоль траектории запуска спутников в периоды геомагнитных возмущений влияют на точность их выведения на орбиту, а также на тепловое и механическое взаимодействие спутника с атмосферой, которое способно нарушить штатную процедуру запуска. [1]

1.2 Космические аппараты и программное обеспечение для регистрации факторов космической погоды

В качестве инструментов мониторинга космической погоды выступают различные космические аппараты, которые имеют полезную нагрузку, позволяющую регистрировать уровень радиоактивного излучения.

К этим космическим аппаратам относятся геостационарные спутники GOES и Электро-Л1, также университетские спутники, запущенные по Программе Госкорпорации Роскосмос «УниверСат». В настоящий момент эта группировка составляет 7 спутников. В их число входит спутник Амурского государственного университета – «АмурСат» («АмГУ-1»), запущенный с космодрома «Восточный» 5 июля 2019 года. На борту малого космического аппарата были установлены две полезные нагрузки: собственная разработка АмГУ прибор «Фотон-Амур» для изучения фотодиодов на основе дисилицида бария [9, 10], и прибор «Декор» НИИЯФ МГУ для мониторинга космической радиации.

Графическое изображение спутников Декарт и АмурСат, имеющие полезную нагрузку «Декор», представлено в приложениях А и Б соответственно.

Прибор «Декор» является детектором гамма-излучения и заряженных частиц в диапазоне 0.3-3 МэВ. Основными научными задачами являются исследование быстрых вариаций потоков электронов в зоне зазора между радиационными поясами, а также изучение динамики потоков частиц и гамма-излучения на очень низких орбитах в зависимости от геомагнитных условий. Детектор прибора Декор представляет собой двуслойный сцинтилляционный спектрометр, выполненный на основе сборки из пластического сцинтиллятора и кристалла CsI(Tl).

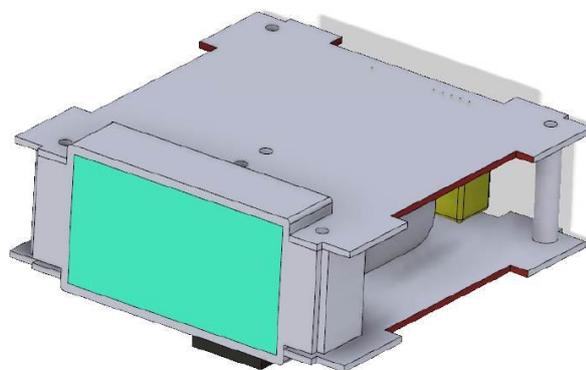


Рисунок 5 – Изображение прибора «ДеКоР» [8]

Для решения научных задач на Землю в приборе ДеКоР формируются мониторинговые данные (скорости счета частиц) и подробные данные обо всех взаимодействиях в детекторе, накапливаемые в памяти прибора по команде, определяющей интересующий исследователя момент времени. Основной способ проведения научного эксперимента состоит в регулярном сборе и передаче на Землю мониторинговых данных, а также активации время от времени режима подробной записи на предварительно рассчитанных участках траектории спутника, проходящих через зоны возможных вариаций потоков захваченных и квази-захваченных частиц. После просмотра данных типа «Мониторинг» исследователь выделяет моменты времени, в которые интересующие его вариации потока действительно происходили. Для этих моментов запрашиваются подробные данные

для передачи на Землю. В блоках данных записывается время в стандарте UNIXTIME. Значение текущего времени принимается от бортовых систем космического аппарата по информационной шине в виде цифрового пакета (команды, содержащей значение времени в виде параметра). В промежутках между моментами синхронизации для определения времени используется собственный таймер микроконтроллера. Для записи моментов взаимодействия частиц используется таймер, имеющий период ~ 10 микросекунд.

Данные типа «Мониторинг» представляют собой скорости счета (число событий за определенный интервал времени) в нескольких каналах. Принадлежность события (случая взаимодействия в детекторе) тому или иному каналу определяется следующим образом: на двухмерной диаграмме, на которой по оси X откладывается амплитуда быстрой компоненты, а по оси Y – амплитуда медленной, каждому каналу соответствует область в виде четырёхугольника, заданного координатами четырёх вершин. Если точка, соответствующая событию в детекторе, лежит внутри четырёхугольника, число отсчетов в данном канале увеличивается на единицу. Границы каналов задаются независимо.

1.3 Проблемы и методы прогнозирования космической погоды

Значительная часть задач прогнозирования космической погоды с точки зрения солнечных событий является задачами диагностики, то есть оценкой геоэффективности солнечного события по наблюдаемым параметрам. В настоящее время краткосрочный прогноз солнечных эруптивных событий крайне необходим. Во-первых, это случай прямой угрозы жизни и здоровью людей: выход космонавтов в открытый космос; трансполярные перелеты на самолетах; планируемые полеты на Луну и Марс. Во-вторых, это возможность потери дорогостоящих спутников уже при их запуске и маневрах на орбите в условиях мощных солнечных вспышек. [3]

Интервалы времени, на который возможен прогноз, определяются физическими процессами:

– вспышки новых магнитных потоков (ВМП) в атмосфере Солнца, их физических характеристик, характера их взаимодействия с уже существующим магнитным полем;

– закономерностями появления и эволюции солнечных структур, таких как солнечного ветра и корональных дыр;

– временное распределение больших вспышечных событий в пределах локализации активных областей и вне их;

– образование, распределение и эволюция солнечных корональных дыр.

Прогнозирование космической погоды подразделяют в зависимости от временного интервала, на который делается прогноз.

Текущая диагностика осуществляется в реальном масштабе времени с целью идентификации события с энергичными частицами на Земле и на борту самолета и предусматривает непрерывный мониторинг развития события. С запаздыванием в несколько часов вычисляется доза радиации. Принимаются меры по снижению высоты полета, изменению курса или посадке. Проблема текущей диагностики (мониторинга) на настоящий момент представляется практически решенной. [3]

Предупреждение (заблаговременность 0 - 24 часа) о наблюдении вспышек и КВМ. Оценивается вероятность события с энергичными частицами. Прогнозируется доза радиации. Руководитель полетов принимает меры по минимизации опасности выхода из строя электроники. [3]

Краткосрочный прогноз (заблаговременность 1 - 3 дня) опасных уровней излучения на высотах и маршрутах, используемых коммерческими авиалиниями, которые могут представлять угрозу для экипажа, пассажиров и бортовой электронной аппаратуры. На основе мониторинга солнечной активности предсказывается вероятность эруптивного события с энергичными частицами. Производится оценка степени риска и выбор экипажа в зависимости от полученной ранее дозы облучения. [3]

1.3.2 Проблемы диагностики и прогнозирования космической погоды

Из предыдущих глав была выяснена значимость прогнозирования космической погоды. Из этого следует, что для обеспечения безопасности полетов, особенно в максимуме солнечной активности, необходима диагностика и прогноз СКЛ. Для этого необходима организация мониторинга событий на Солнце и СМЕ. Множество наземных обсерваторий занимаются постоянными наблюдениями Солнца в различных спектральных линиях оптического диапазона и дают информацию о структуре и динамике активных областей и их магнитного поля, которые в первую очередь ответственны за взрывные процессы на Солнце, в том числе и вспышки. Уникальная космическая обсерватория SOHO, находящаяся на расстоянии около 1,5 миллионов километров от Земли в точке либрации L1, ведет мониторинговое наблюдения солнечной короны и СМЕ. Исходя из источника [11] у данной методики существуют две основные проблемы. Во – первых, особенность эксперимента на SOHO такова, что СМЕ наблюдаются в единственной проекции перпендикулярной к направлению на Землю, вследствие чего информация о тех областях СМЕ, которые приближаются к Земле отсутствует. Во – вторых, до сих пор недостаточно хорошо развита модель генерации СКЛ в солнечных вспышках. Два этих момента делают полностью не точным прогноз потоков СКЛ. Но возможна их диагностика и принятие оперативных мер в случае возникновения опасной ситуации, что вполне реально, поскольку длительность события в СКЛ может достигать нескольких суток. Диагностика динамики СКЛ и ГКЛ с успехом ведется как на поверхности Земли, так и в космосе. На земле вариации потоков ГКЛ и СКЛ с энергиями от 1 ГэВ с очень большой точностью измеряются на нейтронных мониторах. В космосе, в частности на геостационарной орбите и в межпланетном пространстве, измеряются потоки космических лучей с энергиями десятки – сотни МэВ и выше. Таким образом, проблему мониторинга и краткосрочного прогноза СКЛ и ГКЛ, в первом приближении можно считать решенной.

В таблице 2 представлено соотношение между явлениями и факторами космической погоды. Знаком «+» отмечены факторы, имеющие прямое воздействие, «-» – косвенное. [1]

Таблица 2 – Соотношение между явлениями и факторами космической погоды [1]

Факторы	Явления в космической погоде			
	Солнечные вспышки	Коротирующая область взаимодействия солнечного ветра	Выброс корональной массы	Солнечный цикл
Галактические космические лучи			+	+
Радиационные пояса земли		+	+	+
Солнечные космические лучи	+		+	+
Ионизирующее электромагнитное излучение	+			+
Геомагнитные бури		+	+	-
Геомагнитные суббури		+	+	-

Однако остается проблема, связанная с предсказанием геомагнитных бурь, которые усиливают эффективность воздействия СКЛ, а также влекут за собой много других проблем, как на Земле ионизирующее электромагнитное излучение, так и в космосе. Как видно из таблицы 2, предсказание геомагнитных возмущений также требует диагностики и прогноза прихода к Земле, а также короткой области взаимодействия солнечного ветра (КОВ). Проблема краткосрочного прогноза прихода ионизирующее электромагнитное излучение решается несколькими способами. В первую очередь – это мониторинг параметров плазмы солнечного ветра и ММП на КА SOHO и ACE в точке либрации, от которой СМЕ доходит до Земли за 20-40 мин, в зависимости от скорости. Прямые измерения характеристик Ионизирующего электромагнитного излучения на подходе к Земле позволяют давать очень точный, хотя и чрезвычайно краткосрочный, прогноз геомагнитных бурь. Другой метод прогноза прихода к Земле СМЕ и определения его характеристик основан на измерении вариации ГКЛ с помощью нейтронных мониторов. Как сказано в статье [11], при приближении СМЕ к Земле поток ГКЛ уменьшается, наблюдается Форбуш-эффект. По характерным деталям Форбуш – понижения можно судить о свойствах СМЕ. Конечно, точность этого косвенного метода не высока, поскольку потоки ГКЛ существенное влияние оказывают многие другие факторы, в частности геомагнитная и межпланетная возмущенность. Однако, время предупреждения данного метода существенно больше – часы.

Для прогноза суббуревой активности и динамики внешнего РПЗ необходимо уметь предсказывать характеристики КОВ и следующего за ним быстрого солнечного ветра из корональной дыры. Однако методика такого предсказания развита пока слабо, поскольку, не смотря на рекуррентность, свойства корональных дыр и КОВ сильно меняются от оборота к обороту. Этим изменениям способствуют также СМЕ, которые при своем распространении сильно меняют квазистационарную структуру межпланетного пространства. Таким образом, в случае КОВ остается только диагностика средствами прямых измерений в межпла-

нетном пространстве. Косвенная методика нейтронных мониторов здесь не работает, поскольку КОВ, как правило, не имеют достаточно мощной ударной волны и сильного магнитного поля, чтобы промодулировать потоки ГКЛ в гео-сфере.

Проблема прогноза ИЭИ находится в еще менее развитом состоянии, поскольку, отсутствует полное научное понимание феномена солнечной активности, ее причин и основных управляющих физических параметров. Вследствие этого пока нет надежной модели по описанию динамики активной области на Солнце и предсказанию по ней времени начала и характеристик солнечной вспышки. Однако мониторинг и диагностика ИЭИ уже налажен на КА. В частности, на геостационарных ИСЗ, например, серии GOES ведутся регулярные измерения рентгеновского излучения от Солнца. По данным мониторинга спутников такого типа можно определять солнечную активность на несколько дней вперед, используя различные методы прогнозирования.

Таким образом, не смотря на значительный прогресс, в понимании основных факторов и последствий космической погоды, а также бурное развитие экспериментальных методов по их диагностике, наши прогностические возможности в цепочке «явления – факторы – последствия» пока остаются ограниченными. В первую очередь это связано с недостаточно полным пониманием природы явлений в космической погоде, что является прямым следствием недостаточности существующих экспериментальных данных о комплексных физических процессах, происходящих на Солнце, в межпланетной среде и в земной магнитосфере и ионосфере.

1.3.1 Методы прогнозирования космической погоды

В настоящее время разработаны различные методы прогнозирования радиоактивного излучения. Прогноз осуществляется в зависимости от факторов космической погоды.

Наблюдение за магнитными потоками в атмосфере Солнца. Из наблюдений за внутренними магнитными потоками можно суммировать признаки, после которых наступает рост вспышечной активности:

– любое появление нового внутреннего магнитного потока приводит к увеличению вспышечной активности;

– для осуществления большого выброса необходимо, чтобы новый внутренний магнитный поток был достаточно большим ($> 10^{13}$ Вб) и скорость его всплытия была не менее 109 Вб/сек;

– большие выбросы солнечных масс появляются через 1 – 2 суток после обнаружения внутренних магнитных потоков в пределах активной области;

– вспышки больших и средних баллов в активной области группируются в серии, кортежи - они происходят в ограниченном временном интервале. [23]

Интервал времени, за который в активной области осуществляется основная доля вспышек больших и средних баллов называется периодом вспышечного энерговыделения (ПВЭ). В зависимости от степени развития АО, характеристик ее магнитного поля и мощности нового внутреннего магнитного потока данный период может занимать от 16 до 80 часов, в среднем 55 ± 30 часов или 16% времени прохождения АО по диску Солнца. [25]

На разных фазах развития солнечной активности самые продуктивные вспышечные АО появляются в определенных долготных интервалах, причем после последнего появления таких активных областей данный интервал «замолкает» до конца солнечного цикла. Это позволяет рассматривать понятие «активные долготы» как динамическое, зависящее от фазы солнечного цикла и от полушария локализации АО (северного или южного), причем активность полушарий разнесена по времени.

Прогноз выбросов солнечных волокон – только прямые наблюдения внутреннего магнитного потока (ВМП) в слабых магнитных полях дают возможность прогнозировать выброс солнечного волокна. ВМП взаимодействует с фоновым магнитным полем и может выходить только в области нейтральной линии продольной составляющей магнитного поля. Единственным достоверным наблюдательным признаком подготовки выброса волокна является появление слабой эмиссии в диапазонах мягкого рентгена и крайнего ультрафиолета в районе будущего выброса за 2 – 4 суток до начала процесса. Эту эмиссию можно

наблюдать лишь на снимках с хорошим пространственным разрешением (YONKON и SOHO). Исходя из статьи [24] полная величина ВМП не может быть меньше 1.5^{11} Вб, а скорость вспытия должна превышать 2.0^7 Вб/с.

Прогноз ВСВ в настоящее время возможен с большой долей неуверенности и прогноз возмущений в ОКП надо проводить по факту осуществления событий. Геоэффективность ВСВ, как и любых вспышечных явлений, определяется их локализацией на видимом диске Солнца, размерами (мощностью вспышечного события), и расположением относительно существующих корональных дыр. Поток протонов, от этих динамических явлений мал, как по потоку протонов, так и по энергетике. [25]

Прогноз рекуррентных геофизических возмущений. Источниками рекуррентных бурь и СЭС в настоящее время считаются низкоширотные корональные дыры, наиболее долгоживущие геоэффективные явления на Солнце. Большая КД обычно существует 4 – 8 солнечных оборота, практически не меняя своего положения. Однако видимые границы ее могут сдвигаться до $20^\circ/\text{сут.}$, изменяя ее размеры или сдвигая ее как целое. [25]

В основном физическая суть методов прогноза возмущений в околоземной среде состоит в следующем:

- выделить все наиболее геоэффективные потоки солнечного ветра сравнительно плотной ($n \sim 1-70 \text{ см}^{-3}$ на орбите Земли) квазинейтральной и низкоэнергичной ($E < 10 \text{ кЭв}$) плазмы солнечного ветра, вызывающие магнитосферные и ионосферные бури с длительностью от 1 суток и более;

- определить их источники на диске Солнца;

- найти закономерности распространения потоков СВ на участке Солнце - Земля, учесть их взаимодействие;

- найти количественные соотношения между параметрами источников СВ на Солнце и характеристиками вызываемых ими магнитосферных возмущений (или параметрами СВ на орбите Земли). [11]

Знание источников потоков солнечного ветра различных типов и их характеристик на Солнце позволяет рассчитать, а значит прогнозировать параметры

СВ на 1 а.е. и связанные с ними индексы геомагнитной активности в зависимости от времени. K_p индекс – планетарный индекс, характеризующий глобальную возмущенность магнитного поля Земли в трехчасовом интервале времени. [11]

Индекс K_p определяется как среднее значение уровней возмущения двух горизонтальных компонент геомагнитного поля, наблюдаемых на 13 отобранных магнитных обсерваториях, расположенных в субавроральной зоне между 48 и 63 градусами северной и южной геомагнитных широт. K_p индекс имеет 28 значений в диапазоне от 0 до 9 и определяется с точностью до 1/3.

A_p индекс вычисляется по значениям K_p индекса и представляет изменение наиболее возмущенного элемента магнитного поля в трехчасовом интервале времени на среднеширотных станциях. a_p индекс называют планетарной амплитудой в трехчасовом интервале. a_p индекс изменяется в интервале от 0 до 400 В свою очередь, знание $K_p(t)$ и $A_p(t)$ дает возможность, используя модели возмущенных магнитосферы и ионосферы, определить положения наиболее важных пространственных структур: границы плазменного слоя, границы плазмосферы, а также место и время начала суббури и положение главного ионосферного провала. [11]

По мнению автора статьи, [26] прогресс в прогнозировании геомагнитных возмущений, вызываемых квазистационарными потоками СВ, в ближайшие годы будет определяться, в первую очередь, успехами фундаментальных исследований динамики магнитных структур с временным разрешением около 1 часа. Вопрос о роли такой динамики в формировании спорадических потоков СВ находится в стадии поисковых исследований. Прогресс в прогнозировании геомагнитных возмущений, вызываемых спорадическими потоками СВ, зависит от решения в ближайшем будущем двух проблем: а) разработка методов регистрации рождения СМЕ на диске Солнца и измерение их характеристик; б) выяснение природы возникновения V_z – компонентом в различных областях спорадических потоков СВ. [26]

Математический метод прогнозирования факторов космической погоды – метод ИНС. Начиная с 1993 года, искусственные нейронные сети (ИНС)

стали использоваться для прогнозирования различных геомагнитных индексов. В частности, в качестве метода, альтернативного традиционным методам для нелинейного прогноза временных рядов, были использованы рекуррентные НС, использующие нелинейную память для хранения информации об изменении параметров во времени. Например, в статье [13] описан прогноз Dst-индекса на несколько часов вперед, используя данные за 1963 – 87 гг., которые были разбиты на участки бурь и на спокойные периоды. При прогнозировании геомагнитных индексов в качестве входных переменных для ИНС обычно используются значения скорости и плотности СВ, а также значения V_z -компоненты ММП за несколько часов. Для улучшения прогноза всех фаз геомагнитной бури использовались значения параметров СВ в течение 16-24 часов до начала геомагнитной бури. Лучшее значение КК по всему тестовому набору (21 – й солнечный цикл), приводимое в работе, равно 0,92. Самый высокий КК получается при прогнозировании Dst-индекса на один час вперед, при прогнозировании на 5 часов вперед значение КК уменьшается с 0,92 до 0,84, а на 8 часов до 0,77. Для лучшего понимания нейросетевых моделей на вход нейронной сети подавались также различные комбинации параметров СВ и их различные функции. Было найдено, что важны колебания и интенсивность ММП, а также различные произведения параметров СВ, ММП и динамического давления СВ. [26]

Анализируя все методы, наиболее точный, но слишком краткосрочный, прогноз получается на основе анализа в масштабе реального времени спутниковых данных. В настоящее время в передней либрационной точке (на расстоянии 1.5 млн. км на линии Солнце-Земля) находится космический аппарат ACE, который непрерывно передает результаты измерения параметров среды на Землю, и эти параметры позволяют вычислять поступающую в магнитосферу Земли энергию и предсказывать возбуждение магнитных суббурь и бурь. В частности, с таким прогнозом можно ознакомиться на сайте Института Космических Исследований РАН. [26]

Также прогнозы строятся на основе данных полученных от спутников на низких околоземных орбитах. К этим космическим аппаратам относятся геостационарные спутники GOES и Электро – Л1, также университетские спутники, запущенные по Программе Госкорпорации Роскосмос «УниверСат».

Для составления прогноза космической погоды существуют различные математические модели прогнозирования. Проведя анализ различных методов наиболее подходящими оказались метод экспоненциального сглаживания и метод линейной регрессии.

Метод экспоненциального сглаживания (метод Брауна) в большинстве случаев применим при составлении среднесрочных прогнозов. Его основные достоинства простота процедуры вычислений и возможность учета весов исходной информации.

Исторически метод был независимо открыт Брауном и Холтом. Изначально метод экспоненциального сглаживания был создан для прогнозирования систем управления запасами в период второй мировой войны. Тогда Браун служил на флоте США, где занимался обнаружением подводных лодок и системами наведения. Позже, в 1959 году [21] была опубликована книга, описывающая новый метод прогнозирования. Также в 1957 году Холтом была выпущена работа, посвященная исследованию этого метода. [21] Она была поддержана Департаментом военно-морского флота США. Этот метод Браун и Холт открыли независимо друг от друга. Данной методикой можно делать прогнозы для процессов с линейным трендом, с постоянным трендом, и для рядов с сезонной составляющей.

Суть метода состоит в следующем:

– каждое новое значение определяется совокупностью всех предыдущих значений;

– влияние предыдущих данных ослабевает в геометрической прогрессии.

[22]

Метод линейной регрессии применяется в тех случаях, когда необходимо выяснить общую тенденцию изменения, не имея времени на поиск данных об уровнях влияния отдельных факторов.

Достоинства линейной регрессии:

- простота получения модели;
- быстрота получения модели;
- интерпретируемость модели. По полученным коэффициентам регрессии можно судить о том, как тот или иной фактор влияет на результат;
- изученность данного метода.

Исходными данными в этом методе будет являться динамический ряд, состоящий только из двух элементов (времени и изменяющегося показателя в течение дня/недели).

Таким образом, проделав анализ методов прогнозирования космической погоды для данной работы подходящими оказались метод экспоненциального сглаживания и метод линейной регрессии.

2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Технологическая карта

В 2019 году Амурским государственным университетом с космодрома «Восточный» был запущен спутник «АмурСат» («АмГУ – 1»), который входит в группировку 7 малых космических аппаратов, запущенных по программе Госкорпорации Роскосмос «УниверСат». На борту малого космического аппарата были установлены две полезные нагрузки (ПН): собственная разработка АмГУ прибор «Фотон – Амур» [12, 13, 14] 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 [15,16]. Доступ к данным космического мониторинга можно получить в Центре прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ. С марта 2020 г. в Амурском государственном университете функционирует рабочее место оператора Центра прогноза космической погоды, которое дает уникальную возможность анализировать данные поступающие с приборов «ДеКор».

Операционно-технологическая карта по приему и обработке данных космической радиации полученных со спутников группировки «УниверСат» имеющие прибор «ДеКор» представлена в приложении В.

Процесс получения и обработки данных о космической радиации состоит из следующих этапов:

1. Прием информации со спутников, на которых установлены приборы регистрации радиоактивного излучения центром наземного управления полетами;
2. расшифровка информации полученной со спутников центром наземного управления полетами;
3. загрузка данных полученных после расшифровки на сайт НИИЯФ МГУ
4. выгрузка данных с официального сайта прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ (исполнитель – оператор центра космической погоды АмГУ);

5. прогнозирование космической погоды при помощи функционала MS Excel (исполнитель – оператор центра космической погоды АмГУ).

2.1.1 Сбор данных с официального сайта прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ

Центр анализа космической погоды НИИЯФ МГУ предоставляет информацию о текущем состоянии околоземного космического пространства. Информационные сервисы (SWX) на Интернет-сайте центра обеспечивают доступ к актуальным данным, характеризующим уровень солнечной активности, геомагнитного и радиационного состояния магнитосферы и гелиосферы в режиме реального времени. Для анализа данных используются модели космической среды, работающие в автономном режиме. Интерактивные сервисы позволяют извлекать и анализировать данные в заданные моменты времени. SWX – гибкая система для анализа и прогнозирования космической погоды в околоземном космическом пространстве. [19]

Сервис сайта дает возможность оператору анализировать различные данные, например, рентгеновское излучение Солнца, потоки протонов и электронов на орбите различных спутников «Электро Л1», «Goes», «Метеор М», геомагнитные индексы, Солнечные вспышки и СКЛ.

Сбор данных оператором с официального сайта прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ осуществляется следующим образом:

1. Перейти по ссылке <http://swx.sinp.msu.ru/index.php>, используя браузер Google Chrome или Mozilla Firefox не ниже версии 74.0.1;
2. На главной странице <http://swx.sinp.msu.ru/index.php> перейти к сервису «инструменты»;
3. В каталоге данных выбрать спутник. Спутник выбирается для заданного региона;
4. Согласно ТЗ определиться в выборе вида факторов космической погоды и необходимых энергий радиоактивного излучения для данного спутника. При необходимости выбрать общие шаблоны;

5. Выбрать общие шаблоны для определенного спутника (шаблон должен содержать потоки электронов/протонов с нужными энергиями);

6. Настроить временной интервал, для которого нужно получить данные. Выбрать годовой интервал (с 01.01.2000 до текущей даты)/ Выбрать интервал внутри года (минимум – 2 недели, максимум – 9 недель);

7. Выгрузить числовые данные при помощи команды «Сохранить данные в файл», загрузить график с помощью инструмента «Нарисовать» (рисунок 6). Для сохранения данных использовать папку на рабочем столе «Мониторинг КП»;

8. Заполнить таблицу MS Excel «Сбор данных КП» полученными данными со спутников (рисунок 7 – 8).

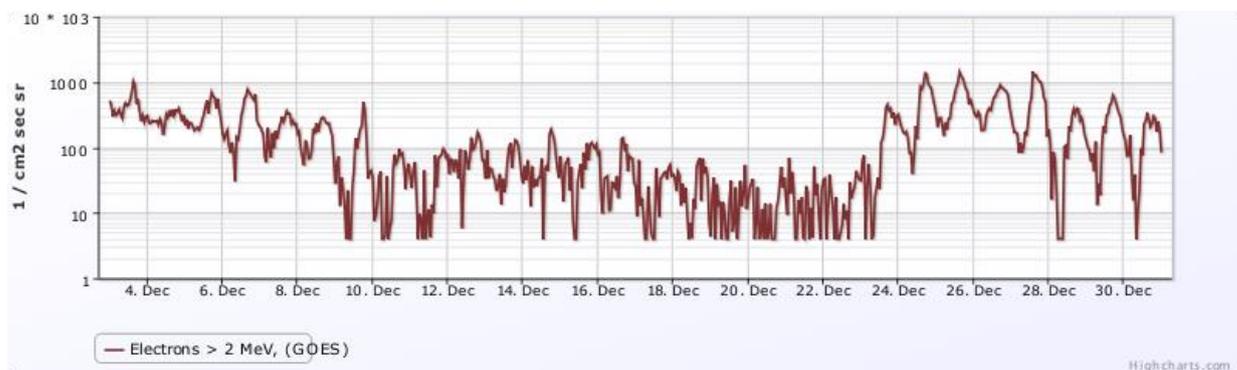


Рисунок 6 – График плотности потоков электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени с сайта прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ

На рис.7 – 8 представлен пример оформления полученных данных с КА в программном обеспечении MS Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2	ГСО GOES														
3	ИНТЕГРАЛЬНЫЙ КАНАЛ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ														
4	часы	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	
5	>2 МэВ Electrons BT *m*² (*10³)														
6	3 декабря	522,338	434,698	298,93	364,302	313,891	332,04	380,688	316,428	281,328	419,626	480,378	434,721	451,323	
7	4 декабря	305,919	240,114	234,436	258,313	249,371	254,562	257,982	223,7	275,028	245,084	156,244	203,089	320,592	
8	5 декабря	222,55	269,98	196,686	240,219	237,317	208,846	182,153	192,903	204,531	185,57	210,065	266,693	316,702	
9	6 декабря	164,141	134,502	160,552	182,453	110,234	84,161	119,971	84,242	30,742	142,743	132,735	188,394	310,11	
10	7 декабря	209,3	181,529	164,223	72,303	59,464	199,051	97,143	71,096	166,824	98,969	181,011	138,103	190,748	
11	8 декабря	161,683	175,031	94,401	71,169	53,577	128,104	109,81	67,542	69,136	91,075	194,782	163,016	236,925	
12	9 декабря	28,177	55,669	72,845	12,98	35,209	23,813	13,275	4	22,082	4	4	25,194	45,349	
13	10 декабря	34,703	7,622	9,163	14,704	36,759	42,872	4	4	4,554	36,081	4	6,008	7,635	
14	11 декабря	35,108	24,115	45,155	59,989	18,104	4	9,549	7,699	4	44,811	4	8,345	11,352	
15	12 декабря	79,162	39,37	65,782	62,375	42,637	66,103	54,132	33,404	94,587	5,896	24,622	90,232	71,687	
16	13 декабря	33,418	91,269	34,208	48,165	46,791	36,464	32,894	21,779	25,697	39,556	13,576	33,532	20,967	
17	14 декабря	28,346	51,900	32,149	63,988	41,180	12,649	51,707	24,922	32,176	26,112	34,749	35,547	67,645	
18	15 декабря	73,628	35,274	15,135	54,686	61,388	70,686	22,166	50,713	7,714	4,000	4,000	29,978	44,045	
19	16 декабря	78,274	84,101	16,577	9,744	33,714	34,858	36,540	10,981	11,214	30,111	26,380	23,718	36,454	
20	17 декабря	25,562	8,999	64,194	12,932	16,827	8,928	4,000	4,000	25,622	10,944	4,954	4,000	4,000	
21	18 декабря	38,980	34,561	21,658	42,896	38,240	13,114	28,143	14,548	24,363	9,387	4,000	7,088	4,103	
22	19 декабря	4,370	19,178	34,688	4,000	27,429	13,383	14,132	4,000	14,585	9,552	4,000	4,000	15,600	
23	20 декабря	15,861	24,950	28,937	33,246	4,000	6,840	24,763	4,000	5,124	11,479	4,000	13,927	4,000	
24	21 декабря	16,825	9,410	69,790	19,775	42,141	24,036	4,000	4,000	15,749	9,716	17,330	4,204	4,000	
25	22 декабря	31,864	33,490	4,000	11,987	38,082	20,542	12,710	4,000	17,410	4,000	4,000	4,871	6,655	
26	23 декабря	31,307	64,012	75,651	4,000	25,385	55,341	24,045	4,000	4,566	17,473	24,334	34,668	23,533	
27	24 декабря	318,544	245,764	203,027	172,307	163,219	174,228	141,764	83,237	84,486	39,582	75,252	213,819	135,131	
28	25 декабря	332,229	207,834	280,016	286,786	219,958	152,462	242,022	189,665	275,680	284,754	467,874	509,776	675,524	
29	26 декабря	366,760	316,646	293,666	348,875	314,541	183,499	185,256	187,863	299,066	361,709	396,433	372,329	471,2054	
30	27 декабря	303,854	226,621	171,044	171,196	161,261	83,895	118,032	83,289	102,238	175,167	153,195	284,241	460,607	
31	28 декабря	191,851	116,848	16,137	85,347	66,250	20,923	4,000	4,077	4,000	4,000	102,390	107,598	67,091	

Рисунок 7 – Показания плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени, полученных с геостационарного спутника GOES

4 декабрь Protons 1/sm ² sec sr							5 декабрь Protons 1/sm ² sec sr						
часы	>1 МэВ	>5 МэВ	>10 МэВ	>30 МэВ	>50 МэВ	>60 МэВ	часы	>1 МэВ	>5 МэВ	>10 МэВ	>30 МэВ	>50 МэВ	>60 МэВ
0:00	90,709	1,119	0,521	0,456	0,453	0,435	0:00	96,552	0,608	0,562	0,515	0,506	0,488
1:00	73,828	0,913	0,572	0,475	0,471	0,449	1:00	103,715	0,536	0,500	0,470	0,466	0,447
2:00	91,745	2,477	0,790	0,466	0,453	0,422	2:00	114,688	0,575	0,522	0,488	0,478	0,448
3:00	111,6355	3,509	0,939	0,479	0,474	0,453	3:00	130,743	0,681	0,586	0,440	0,423	0,411
4:00	128,043	4,246	1,258	0,459	0,450	0,429	4:00	152,487	1,066	0,771	0,457	0,448	0,419
5:00	128,638	3,488	1,335	0,473	0,460	0,441	5:00	137,461	2,964	1,100	0,472	0,455	0,423
6:00	136,054	3,276	1,284	0,493	0,481	0,453	6:00	151,601	4,568	1,131	0,479	0,475	0,460
7:00	149,269	2,578	1,201	0,477	0,455	0,426	7:00	228,235	3,021	0,900	0,437	0,433	0,417
8:00	146,381	1,781	0,896	0,467	0,450	0,422	8:00	222,580	1,641	0,730	0,423	0,418	0,398
9:00	138,629	1,954	0,968	0,442	0,434	0,414	9:00	220,037	1,297	0,808	0,483	0,471	0,443
10:00	125,2442	1,575	0,863	0,467	0,457	0,432	10:00	160,330	0,795	0,699	0,467	0,458	0,428
11:00	141,664	2,805	1,116	0,458	0,448	0,433	11:00	142,790	3,320	0,913	0,482	0,466	0,436
12:00	144,489	2,659	1,070	0,487	0,472	0,450	12:00	176,370	1,846	0,667	0,457	0,447	0,418
13:00	141,927	2,010	0,879	0,474	0,462	0,449	13:00	110,291	1,268	0,719	0,430	0,429	0,405
14:00	137,695	1,745	0,924	0,466	0,450	0,432	14:00	213,231	1,890	0,548	0,437	0,430	0,410
15:00	112,403	1,632	0,951	0,522	0,505	0,464	15:00	145,123	0,682	0,521	0,447	0,444	0,421
16:00	142,081	2,236	1,055	0,497	0,482	0,456	16:00	205,587	0,733	0,576	0,481	0,473	0,450
17:00	134,573	0,954	0,654	0,470	0,465	0,445	17:00	205,466	0,526	0,500	0,429	0,418	0,403
18:00	126,053	1,265	0,844	0,504	0,500	0,463	18:00	228,225	0,808	0,612	0,482	0,474	0,432
19:00	116,002	1,190	0,943	0,500	0,482	0,451	19:00	294,399	1,228	0,626	0,488	0,475	0,440
20:00	122,526	1,716	0,966	0,457	0,442	0,418	20:00	166,908	0,673	0,562	0,447	0,439	0,425
21:00	105,816	1,646	0,816	0,455	0,440	0,408	21:00	122,227	1,354	0,526	0,441	0,433	0,416
22:00	85,789	1,383	0,587	0,493	0,484	0,460	22:00	67,748	1,018	0,498	0,441	0,434	0,414
23:00	91,287	0,915	0,536	0,485	0,473	0,445	23:00	43,048	0,865	0,567	0,445	0,436	0,401

Рисунок 8 – Показания плотности потока протонов с различными энергиями от времени, полученных с геостационарного спутника GOES

2.1.2 Прогнозирование космической погоды при помощи функционала Microsoft Excel

Анализ данных измерений является важнейшим этапом исследования околоземного космического пространства. Исследование различных процессов на Солнце, в солнечном ветре и в магнитосфере Земли требуют различных данных, полученных в Центре прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ за разные периоды времени. Часто эти данные пересекаются, иногда трудно сразу определить, какие данные потребуются для научного исследования. [19]

Данные космической погоды заносятся в таблицу Excel. Далее строятся суточные и недельные прогнозы с помощью инструментов программы.

Построение прогнозов методом линейной регрессии при помощи функционала Excel:

1. На рабочем столе в папке «Мониторинг КП» открыть книгу MS Excel «Прогноз методом линейной регрессии»;

2. Ввести номера периодов (1, 2, 3, ..., n) и данные, полученные с КА (за неделю/сутки). Для номеров периодов использовать ячейки A1 – A24 (для составления суточных прогнозов), A1 – A168 (для недельных прогнозов); для данных мониторинга использовать ячейки B1-B24(данные за сутки), B1 – B168 (для недельных прогнозов);

3. Определить коэффициенты уравнения $y = bx + a$ пользуясь функцией «ЛИНЕЙН» Выделить ячейку с формулой и соседнюю, правую, ячейку так чтобы активной оставалась ячейка с формулой. Нажать кнопку F2. Затем Ctrl + Shift + Enter (чтобы ввести массив функций для обеих ячеек). Таким образом получаем сразу 2 значения коэффициентов для (a) и (b). Выделив 2 ячейки D1 и E1 ввести массив: =ЛИНЕЙН (B1:B24; A1:A24) – для суточных прогнозов/ =ЛИНЕЙН (B1:B168; A1:A168)- для недельных прогнозов;

4. Рассчитать для каждого периода y-значение линейного тренда. Для этого в уравнение $y = bx + a$ подставить рассчитанные коэффициенты (a) и (b). В ячейке G1 Записать уравнение в виде =A1*\$D\$1+\$E\$1 и протянуть ячейки до конца номеров периода;

5. Найти отклонение фактических данных от значений тренда. Для этого нужно разделить имеющиеся данные за час на полученное в пункте 4 значение тренда. В ячейку H1 ввести формулу: $=B1/G1$ и протянуть ячейки до конца номеров периода;

6. Рассчитать среднее значение имеющихся данных (за неделю/сутки). В ячейке L1 написать формулу $=СРЗНАЧ (C1:C24)$ для суточных прогнозов $/=СРЗНАЧ (C1:C168)$ для недельных;

7. Определить коэффициент, учитывающий временную неравномерность. Данный показатель, зафиксированный КА в течение часа, разделить на среднее значение всех данных (за неделю/сутки). В ячейку M1 ввести формулу $=B1/LS1$ и протянуть ячейки до конца номеров периодов;

8. Продлить номера периодов временного ряда на необходимое количество. Продлить на 24 ячейки вперед для суточных прогнозов (в ячейках O1:O24) или на 168 ячеек вперед для недельных прогнозов (в ячейках O1:O168);

9. Рассчитать значения тренда для будущих периодов: изменив в уравнении линейной функции значение x (номер периода). В ячейку S1 ввести формулу: $=DS1 \cdot O1 + ES1$ и протянуть ячейки до конца номеров периодов;

10. На основе полученных данных составить прогноз космической погоды на следующие сутки или неделю с учетом коэффициент временной неравномерности. В ячейку T1 ввести формулу: $= S1 / M1$ и протянуть ячейки до конца номеров периодов;

11. Начертить график прогноза. По оси абсцисс отобразить время (интервал – час) по оси ординат данные прогноза изменяющиеся в течении суток/ недели.

Построение прогнозов методом экспоненциального сглаживания при помощи функционала Excel:

1. На рабочем столе в папке «Мониторинг КП» открыть книгу MS Excel «Прогноз методом линейного тренда»;

2. В первой строке ввести временные интервалы, во второй строке значения суток/недели, соответствующие временному интервалу. Для суточных прогнозов использовать данные 4 дней предшествующих прогнозируемому: дату и время ввести в ячейки A1 – A96, значения данных ввести в ячейки B1 – B96, для недельных прогнозов использовать данные одной недели предшествующей прогнозной: в ячейки A1 – A168 ввести дату и время (в A1 написать 06. 12. 2021 0:00), значения данных ввести в ячейки B1 – B168 соответственно;

3. Рассчитать временную неравномерность. Для этого сумма диапазонов по известным периодам (дням) делится на сумму этих чисел и умножается на количество часов в сутках. Для суточных прогнозов: в ячейку F1 ввести формулу: $=((B1:B24+B25:B48+B49:B72+B73:B96)/СУММ(B1:B96))*24$ и протянуть на 24 ячейки вперед;

4. Продлить временной интервал на сутки/неделю для которого нужен прогноз. Для суточных прогнозов в ячейку A97 – A120 ввести дату и время; для недельного прогноза в ячейку A169 – A337 также ввести дату и время. Например, в A169 написать 07. 12. 2021 0:00;

5. При помощи функции «ПРЕДСКАЗ» вычислить прогнозные значения. В качестве x вводится временной интервал (0:00) часов, в качестве известных значений y данные по известным периодам (дням) и в качестве известных значений x временные интервалы. В ячейку B97 ввести формулу: $=\text{ПРЕДСКАЗ}(A97; \$B\$1:\$B\$96; \$A\$1:\$A\$96)*\text{ИНДЕКС}(F\$1:F\$24; \text{ЧАС}(A97))$ и протянуть на 24 ячейки вперед – для суточных прогнозов; в ячейку B169 ввести формулу: $=\text{ПРЕДСКАЗ}(A169; \$B\$1:\$B\$168; \$A\$1:\$A\$168)*\text{ИНДЕКС}(F\$1:F\$24; \text{ЧАС}(A169))$ и протянуть на 168 ячеек вперед – для недельных прогнозов;

6. Начертить график прогноза. По оси абсцисс отобразить время (интервал – час) по оси ординат данные прогноза изменяющиеся в течении суток/ недели.

2.2 Практическое исследование методов для построения суточных прогнозов космической погоды

В качестве инструмента прогнозирования космической погоды были использованы известные методы экстраполяции, основанные на распространении

прошлых и настоящих тенденций, закономерностей, связей на будущее развитие объекта прогнозирования: метод экспоненциального сглаживания (или метод Брауна) и метод линейной регрессии.

2.2.1 Прогнозирование методом экспоненциального сглаживания

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. [23]

Коэффициент сглаживания выбирается из диапазона $\alpha \in (0, 1)$. С помощью этого коэффициента распределяются веса между влияниями текущего значения и сглаженного значения предшествующего наблюдения. При вычислении t -ого сглаженного значения U_t , чем ближе коэффициент к 1, тем больше учитываются величины текущего и ближайших предшествующих значений, а чем ближе к 0, тем больше учитываются начальные значения временного ряда. Другими словами, от величины α зависит, как быстро снижается вес влияния предшествующих наблюдений. [24]

Поскольку данные суточных прогнозов являлись значения нескольких дней, то коэффициент сглаживания ряда $a = 0,5$.

В ходе проведенной работы были загружены данные космической погоды со спутников GOES, Декарт, АмурСат. В таблице 3 представлены показания нескольких дней по которым составлялся суточный прогноз.

Таблица 3 – Поток плотности электронов с энергиями $E > 2$ МэВ на метр квадратный космического пространства (данные 2020 года)

3 декабря		4 декабря		5 декабря		6 декабря	
часы	Элек- троны $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^3$	часы	Элек- троны $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^3$	часы	Элек- троны $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^3$	часы	Электроны $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^3$
0:00	522,338	0:00	305,919	0:00	222,55	0:00	164,141
1:00	434,698	1:00	240,114	1:00	269,98	1:00	134,502
2:00	298,93	2:00	234,436	2:00	196,686	2:00	160,552
3:00	364,302	3:00	258,313	3:00	240,219	3:00	182,453
4:00	313,891	4:00	249,371	4:00	237,317	4:00	110,234
5:00	332,04	5:00	254,562	5:00	208,846	5:00	84,161
6:00	380,688	6:00	257,982	6:00	182,153	6:00	119,971
7:00	316,428	7:00	223,7	7:00	192,903	7:00	84,242
8:00	281,328	8:00	275,028	8:00	204,531	8:00	30,742
9:00	419,626	9:00	245,084	9:00	185,57	9:00	142,743
10:00	480,378	10:00	156,244	10:00	210,065	10:00	132,735
11:00	434,721	11:00	203,089	11:00	266,693	11:00	188,394
12:00	451,323	12:00	320,592	12:00	316,702	12:00	310,11
13:00	539,662	13:00	287,799	13:00	416,089	13:00	378,506
14:00	694,735	14:00	370,399	14:00	523,145	14:00	560,723
15:00	1026,363	15:00	300,152	15:00	335,877	15:00	603,822
16:00	905,688	16:00	382,51	16:00	498,678	16:00	770,352
17:00	469,837	17:00	309,471	17:00	690,48	17:00	689,833
18:00	542,27	18:00	369,952	18:00	604,373	18:00	653,499
19:00	355,707	19:00	356,899	19:00	578,444	19:00	572,289
20:00	255,549	20:00	397,818	20:00	399,296	20:00	533,565
21:00	308,64	21:00	328,247	21:00	560,733	21:00	651,103
22:00	245,665	22:00	251,875	22:00	368,112	22:00	261,394
23:00	293,866	23:00	314,075	23:00	262,545	23:00	223,612

Таким образом, пользуясь данными из таблицы 3, был составлен суточный прогноз на 7 декабря методом Брауна. В таблице 4 приведена погрешность и сравнение расчетных значений и данных полученных от спутника в этот день.

Таблица 4 – Сравнение прогнозных значений и данных полученных от спутника на 7 декабря 2020 года

Прогноз на 7 декабря		Данные, полученные с КА 7 декабря	Погрешность, δ
0:00	243,217	209,3	0,162
1:00	242,751	181,529	0,337
2:00	209,589	164,223	0,276
3:00	163,768	72,303	1,265
4:00	200,589	59,464	2,373
5:00	167,932	199,051	-0,156
6:00	160,109	97,143	0,648
7:00	174,401	71,096	1,453
8:00	144,553	166,824	-0,134
9:00	138,127	98,969	0,396
10:00	185,744	181,011	0,026
11:00	182,132	138,103	0,319
12:00	208,670	190,748	0,094
13:00	280,670	233,03	0,204
14:00	332,930	297,532	0,119
15:00	456,682	248,444	0,838
16:00	483,477	292,027	0,656
17:00	551,071	359,683	0,532
18:00	456,700	325,679	0,402
19:00	458,326	327,373	0,400
20:00	385,679	231,161	0,668
21:00	320,196	256,153	0,250
22:00	380,837	222,099	0,715
23:00	212,008	229,826	-0,078

Таким образом, полученная погрешность в среднем составляет $\delta = 0,49$. В результате был получен график, представленный на рис.8. На рис. 9 в виде графиков представлены данные прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 7 декабря 2020 года и сравнение их с полученными позже значениями от космического аппарата (спутника) на эту же дату.

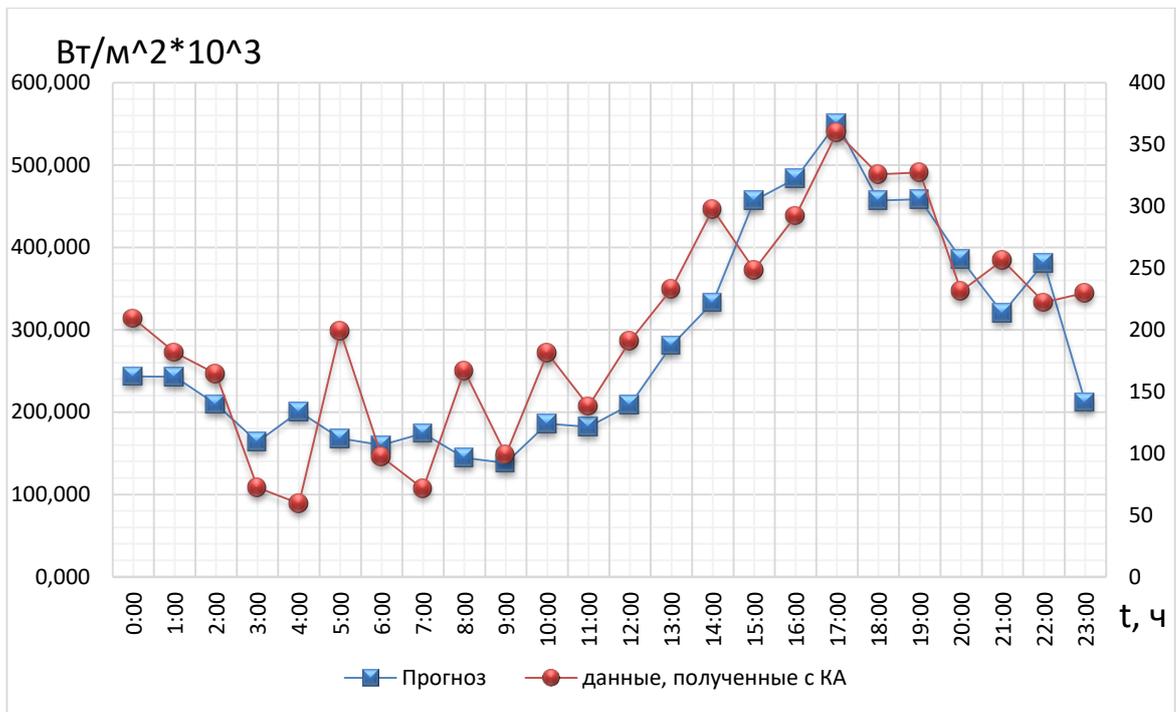


Рисунок 9 – Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 7 декабря 2020 года и на основе данных полученных позже от КА на эту же дату

Анализируя график нетрудно заметить, что экспоненциально сглаженная кривая имеет повторяемость за кривой, значения которой получены с Космического аппарата. В данный день пик плотности потока электронов приходится на 17:00, что соответствует прогнозируемому. Таким образом строя прогноз данным методом можно отслеживать спад или, напротив, повышение солнечной активности.

2.2.2 Прогнозирование методом линейной регрессии

Для вычисления прогноза применяется линейное уравнение:

$$y = bx + a, \tag{2}$$

где y – исследуемая переменная;

x – число, определяющее позицию времени в периоде прогнозирования;

b – угловой коэффициент, он находится 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. [24]

Таким образом, пользуясь функциями Excel, можно составить прогноз космической погоды на ближайшее время

Таблица 5 – Прогноз космической погоды на 7 декабря 2020 года методом линейного тренда

6 декабря				Прогноз на 7 декабря	
время	Электроны $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^3$	коэффициент наклона прямой тренда	свободный член тренда	время	Электроны $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^3$
0:00	164,141	23,069	34,294	0:00	310,836
1:00	134,502			1:00	264,325
2:00	160,552			2:00	326,997
3:00	182,453			3:00	384,648
4:00	110,234			4:00	240,277
5:00	84,161			5:00	189,463
6:00	119,971			6:00	278,656
7:00	84,242			7:00	201,692
8:00	30,742			8:00	75,800
9:00	142,743			9:00	362,166
10:00	132,735			10:00	346,264
11:00	188,394			11:00	504,930
12:00	310,110			12:00	853,323
13:00	378,506			13:00	1068,588
14:00	560,723			14:00	1623,109
15:00	603,822			15:00	1791,038
16:00	770,352			16:00	2340,071
17:00	689,833			17:00	2144,803
18:00	653,499			18:00	2078,558
19:00	572,289			19:00	1861,173
20:00	533,565			20:00	1773,385
21:00	651,103			21:00	2210,593
22:00	261,394			22:00	906,161
23:00	223,612			23:00	775,184

В таблице 6 приведена погрешность и сравнение расчетных значений и данных полученных от спутника в этот день.

Таблица 6 – Сравнение прогнозных значений и данных полученных от спутника на 7 декабря 2020 года

Прогноз на 7 декабря		Данные, полученные с КА 7 декабря	Погрешность, δ
0:00	310,836	209,3	0,485
1:00	264,325	181,529	0,456
2:00	326,997	164,223	0,991
3:00	384,648	72,303	4,320
4:00	240,277	59,464	3,041
5:00	189,463	199,051	-0,048
6:00	278,656	97,143	1,869
7:00	201,692	71,096	1,837
8:00	75,800	166,824	-0,546
9:00	362,166	98,969	2,659
10:00	346,264	181,011	0,913
11:00	504,930	138,103	2,656
12:00	853,323	190,748	3,474
13:00	1068,588	233,03	3,586
14:00	1623,109	297,532	4,455
15:00	1791,038	248,444	6,209
16:00	2340,071	292,027	7,013
17:00	2144,803	359,683	4,963
18:00	2078,558	325,679	5,382
19:00	1861,173	327,373	4,685
20:00	1673,456	241,162	6,682
21:00	2210,593	256,154	7,631
22:00	906,171	222,001	3,090
23:00	775,184	229,826	2,473

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что метод линейного тренда именно для суточных прогнозов космической погоды не точен. Сравнивая с реальными данными, он имеет достаточно большую погрешность. В результате был получен график, представленный на рис.10, где представлены данные прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ рассчитанные методом линейной регрессии на 7 декабря 2020 года и сравнение их с

полученными позже значениями от космического аппарата (спутника) на эту же дату.

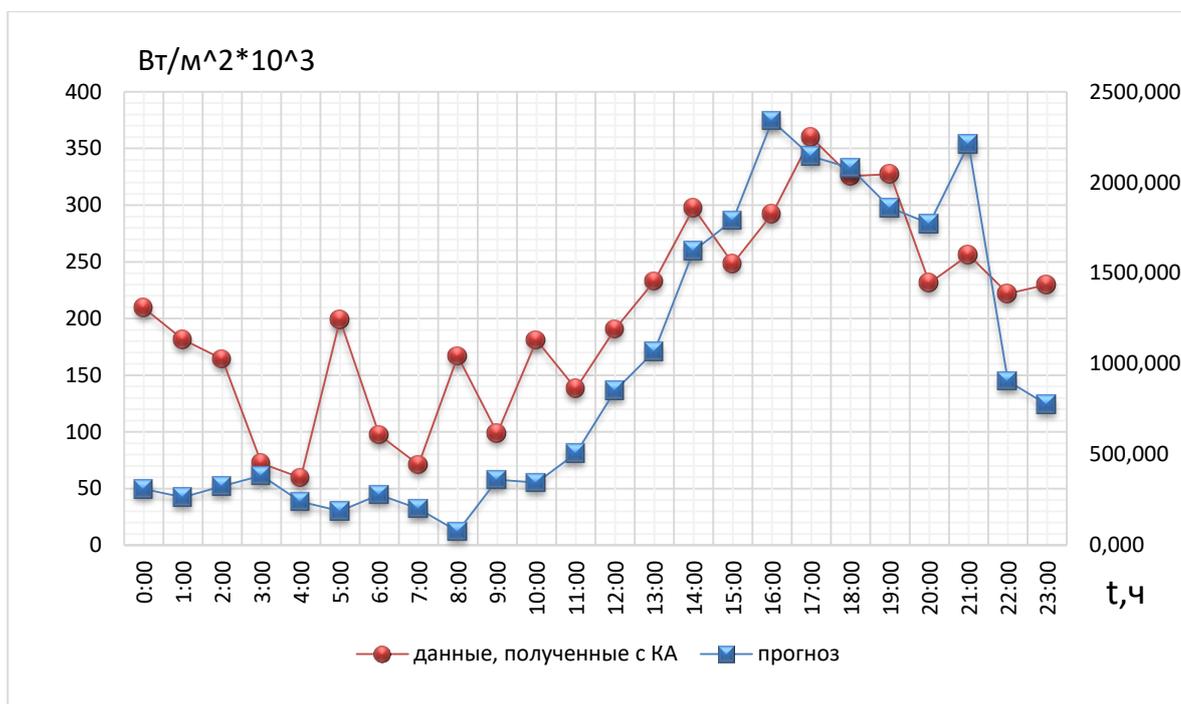


Рисунок 10 – Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом линейной регрессии на 7 декабря 2020 года и на основе данных полученных позже от КА на эту же дату

В методе линейной регрессии использовались данные одного дня, а для вычисления прогнозов методом экспоненциального сглаживания, напротив, исходными данными являлись несколько дней. Применяв эти методы, можно заметить, что при увеличении числа исходных данных прогнозируемые показатели становятся точнее. Таким образом, проведенный анализ расчетных данных прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ с использованием различных методов экстраполяции, показал, что для проведения суточного прогнозирования космической погоды наиболее эффективен метод экспоненциального сглаживания.

2.2 Практическое исследование методов для построения недельных прогнозов космической погоды

2.2.1 Прогнозирование методом экспоненциального сглаживания

Для составления недельных прогнозов были использованы те же методы, что и для суточных. Только исходными данными являлась одна неделя предшествующая прогнозной. Процедура вычисления и алгоритм не менялся.

В таблицах 7 – 8 представлены данные по которым строился прогноз.

Таблица 7 – Данные плотности потока электронов с энергиями $E > 2$ МэВ, полученные с КА (данные 2021 года)

22 февраля		23 февраля		24 февраля		25 февраля	
часы	Элек- троны Вт · м ² · 10 ³	часы	Элек- троны Вт · м ² · 10 ³	часы	Элек- троны Вт · м ² · 10 ³	часы	Элек- троны Вт · м ² · 10 ³
0:00	1009,373	0:00	3417,730	0:00	1233,577	0:00	60,371
1:00	1630,723	1:00	2894,643	1:00	501,489	1:00	96,932
2:00	1680,393	2:00	3247,282	2:00	959,969	2:00	81,820
3:00	13,037	3:00	1933,029	3:00	948,906	3:00	33,681
4:00	1640,069	4:00	1810,320	4:00	204,430	4:00	42,323
5:00	1268,622	5:00	2014,387	5:00	283,376	5:00	52,964
6:00	548,573	6:00	1895,980	6:00	1114,765	6:00	69,190
7:00	1493,116	7:00	1985,031	7:00	1984,885	7:00	53,890
8:00	1669,545	8:00	2635,974	8:00	5670,140	8:00	90,691
9:00	2462,475	9:00	2160,505	9:00	4871,755	9:00	89,935
10:00	2490,385	10:00	2369,732	10:00	5324,153	10:00	56,654
11:00	2118,047	11:00	3671,765	11:00	2283,712	11:00	70,636
12:00	2733,400	12:00	4515,897	12:00	4181,086	12:00	214,350
13:00	3317,241	13:00	7703,743	13:00	2960,534	13:00	150,262
14:00	6164,051	14:00	8115,396	14:00	1779,961	14:00	170,119
15:00	4999,597	15:00	9605,667	15:00	2416,724	15:00	212,273
16:00	7856,964	16:00	7334,266	16:00	3213,666	16:00	231,016
17:00	7146,577	17:00	8468,316	17:00	4371,276	17:00	674,408
18:00	7847,068	18:00	7322,266	18:00	3893,549	18:00	797,740
19:00	6211,831	19:00	5380,802	19:00	5257,027	19:00	566,982
20:00	6211,831	20:00	3942,441	20:00	1654,897	20:00	670,206
21:00	4147,768	21:00	4107,148	21:00	588,337	21:00	438,945
22:00	4515,501	22:00	3297,666	22:00	421,018	22:00	370,119

23:00	4379,149	23:00	2570,169	23:00	146,467	23:00	279,475
-------	----------	-------	----------	-------	---------	-------	---------

Таблица 8 – Данные плотности потока электронов с энергиями $E > 2$ МэВ, полученные с КА 2021 года

26 февраля		27 февраля		28 февраля	
часы	Электроны $\text{Вт} \cdot \text{м}^2 \cdot 10^3$	часы	Электроны $\text{Вт} \cdot$ $\text{м}^2 \cdot 10^3$	часы	Электроны $\text{Вт} \cdot$ $\text{м}^2 \cdot 10^3$
0:00	205,005	0:00	399,474	0:00	734,793
1:00	502,175	1:00	281,113	1:00	778,572
2:00	344,286	2:00	258,342	2:00	668,669
3:00	302,844	3:00	88,837	3:00	645,903
4:00	281,696	4:00	71,343	4:00	716,210
5:00	370,405	5:00	15,223	5:00	372,101
6:00	314,049	6:00	6,189	6:00	877,407
7:00	291,631	7:00	66,560	7:00	892,455
8:00	323,552	8:00	105,883	8:00	868,513
9:00	419,381	9:00	175,119	9:00	1014,237
10:00	355,919	10:00	319,535	10:00	1135,793
11:00	543,066	11:00	331,344	11:00	1186,300
12:00	836,369	12:00	569,725	12:00	1410,813
13:00	1214,069	13:00	711,757	13:00	1568,617
14:00	1498,887	14:00	894,525	14:00	2063,417
15:00	2560,306	15:00	1158,372	15:00	2401,393
16:00	5516,725	16:00	1409,361	16:00	2460,273
17:00	3307,839	17:00	1362,059	17:00	2594,652
18:00	1897,579	18:00	1455,218	18:00	2224,109
19:00	4089,551	19:00	1271,921	19:00	2104,822
20:00	2560,296	20:00	1093,553	20:00	2123,680
21:00	1422,217	21:00	1070,463	21:00	1129,212
22:00	960,354	22:00	957,310	22:00	734,768
23:00	526,851	23:00	881,802	23:00	172,477

На основе этих данных рассчитывался прогноз на следующую неделю (1-7 марта). Данные прогнозных значений и значений, полученных позже на эту же дату, приводятся в таблицах 9-12.

Таблица 9 – Сравнение расчетных значений методом Брауна и данных полученных с КА (данные 2021 года)

1 марта			2 марта		3 марта		4 марта	
часы	Полученные С КА	Прогнозные						
0:00	105,21	336,03	9,01	377,48	104,98	292,07	1091,5	300,68
1:00	23,05	318,20	38,39	317,56	44,16	244,01	467,06	317,35
2:00	49,19	344,62	4,37	349,00	44,15	262,39	987,40	288,66
3:00	6,84	188,77	28,37	244,80	436,78	214,13	588,48	214,89
4:00	60,53	226,85	30,09	198,18	40,91	151,94	1671,2	211,08
5:00	97,91	208,32	6,93	196,03	27,17	130,76	1549,3	168,24
6:00	4,00	229,70	28,66	266,39	242,59	251,13	1835,4	251,78
7:00	12,69	322,10	7,64	330,77	94,04	344,04	2053,5	287,70
8:00	4,00	540,88	4,00	604,95	949,93	716,01	2136,6	406,34
9:00	4,00	532,75	4,00	547,50	1277,3	667,67	2249,2	430,86
10:00	4,00	573,62	4,00	599,02	1148,4	729,98	2474,4	471,35
11:00	4,00	485,70	8,32	506,65	2070,7	471,90	2592,0	449,49
12:00	17,40	688,30	5,59	733,84	1536,5	753,53	2985,9	650,92
13:00	4,00	838,92	26,17	895,27	2371,2	727,78	3529,1	763,40
14:00	4,00	984,57	34,53	916,49	1679,1	725,03	4657,8	906,71
15:00	25,57	1111,5	40,50	1150,5	3123,2	960,94	6192,5	1194,5
16:00	5,98	1507,2	122,41	1496,4	3352,7	1381,8	5962,2	1750,5
17:00	13,35	1329,1	138,55	1306,6	4387,8	1304,3	5382,2	1485,0
18:00	33,89	2016,3	403,23	2159,2	3759,8	2737,7	5021,0	1661,1
19:00	20,23	1184,3	366,55	1173,5	3586,5	1365,6	3076,6	1469,7
20:00	43,19	868,94	128,38	763,25	2995,9	849,55	2202,2	1116,2
21:00	7,36	614,17	7,76	553,82	2590,3	507,66	2453,3	717,12
22:00	19,75	535,76	64,78	430,08	947,53	384,81	2411,1	546,70
23:00	63,99	426,28	92,89	295,72	1195,0	238,16	1704,9	352,62

Таблица 10 – Сравнение расчетных значений методом Брауна и данных полученных с КА

5 марта			6 марта		7 марта	
часы	Полученные С КА	Прогнозные	Полученные С КА	Прогнозные	Полученные С КА	Прогнозные
0:00	1315,488	305,504	1117,507	352,395	61,597	342,449
1:00	1445,635	318,604	629,724	330,499	182,683	333,039
2:00	1321,186	290,542	219,418	315,975	94,879	319,726
3:00	1518,125	219,431	1101,254	233,143	140,724	248,825
4:00	1525,523	214,480	580,751	229,720	75,563	247,226

5:00	1402,814	168,725	281,880	161,619	38,907	178,372
6:00	1382,574	253,666	27,753	274,143	40,010	305,052
7:00	1159,581	292,769	44,003	325,493	39,404	354,677
8:00	1328,027	411,813	113,160	468,964	51,983	509,746
9:00	1129,668	437,379	53,515	488,357	111,383	522,596
10:00	1507,633	483,306	53,077	553,432	110,899	576,871
11:00	2467,903	458,965	116,091	499,243	149,062	514,919
12:00	3059,650	651,704	319,694	700,524	234,706	709,224
13:00	3694,264	775,996	841,071	806,126	265,948	809,013
14:00	4468,486	922,631	1000,396	951,346	376,824	947,832
15:00	4579,330	1216,865	1207,322	1179,868	446,594	1169,296
16:00	4719,957	1792,508	1363,832	1514,046	573,386	1510,262
17:00	5277,793	1465,376	1371,450	1391,993	873,249	1380,101
18:00	5025,626	1634,183	1107,188	1782,223	1055,912	1803,624
19:00	5043,696	1461,891	1092,218	1287,359	1049,648	1274,806
20:00	3316,832	1082,675	789,256	1013,528	817,082	991,949
21:00	2532,739	694,565	626,043	678,473	807,753	621,089
22:00	1955,283	525,403	393,976	528,051	750,915	467,633
23:00	1279,885	334,186	244,853	346,648	646,681	274,839

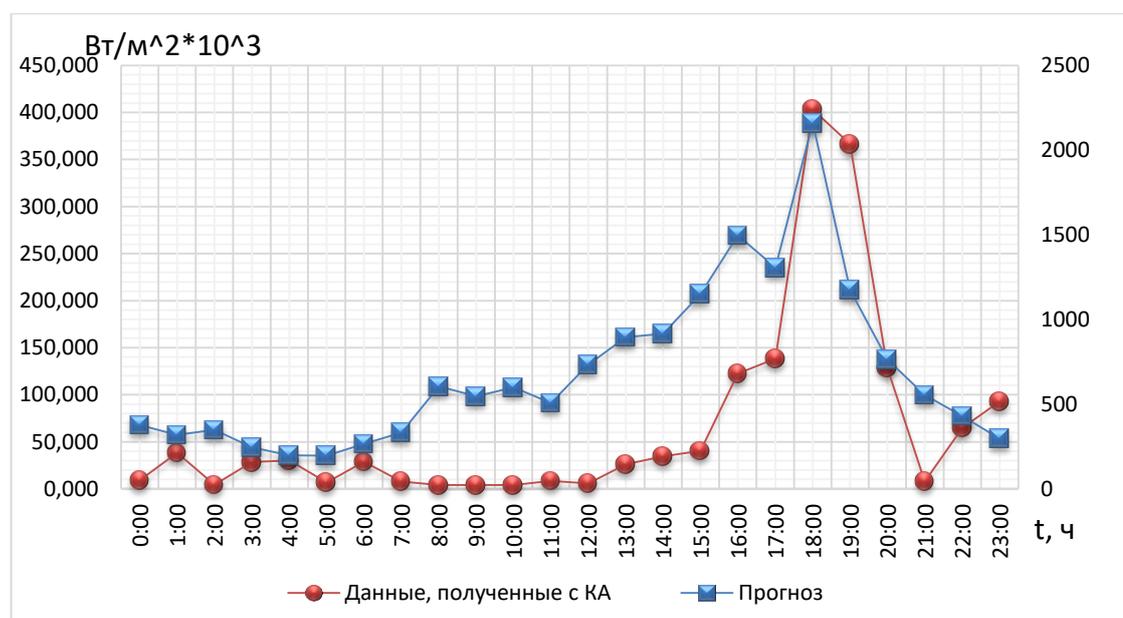


Рисунок 11 – Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 2 марта 2021 и на основе данных полученных позже от КА на эту же дату

На рисунке 11 в виде графиков представлены данные прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ, рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 2 марта 2021 года и сравнение их с полученными позже измеренными значениями от космического аппарата на эту же дату.

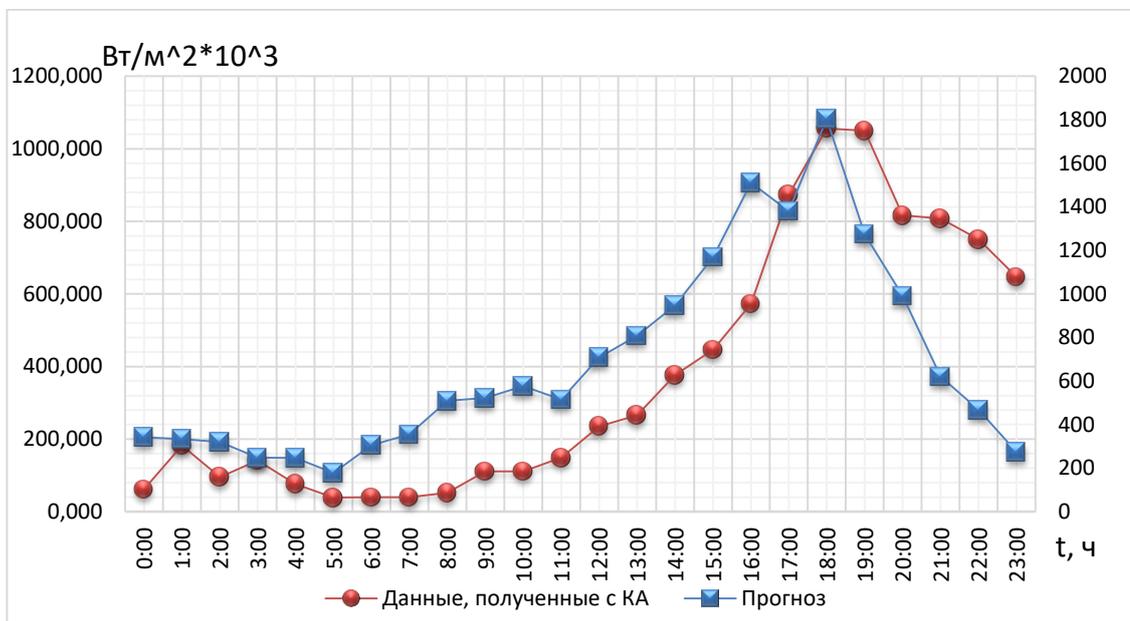


Рисунок 12 – Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 7 марта 2021 и на основе данных полученных позже от КА на эту же дату

На рисунке 12 в виде графиков представлены данные прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ, рассчитанные методом экспоненциального сглаживания на 7 марта 2021 года и сравнение их с полученными позже измеренными значениями от космического аппарата на эту же дату.

2.2.2 Прогнозирование методом линейной регрессии

Таблица 11 – Сравнение расчетных значений методом линейной регрессии и данных полученных с КА

	1 марта		2 марта		3 марта		4 марта	
часы	Полученные С КА	Прогнозные						
0:00	105,21	144,09	9,01	344,23	104,98	424,59	1091,5	35,48
1:00	23,05	216,25	38,39	320,91	44,16	177,70	467,06	57,95

2:00	49,19	205,79	4,37	392,95	44,15	349,90	987,41	49,74
3:00	6,84	1,46	28,37	253,52	436,78	355,49	588,48	20,82
4:00	60,53	167,57	30,09	255,79	40,91	78,66	1671,2	26,59
5:00	97,91	116,75	6,93	305,06	27,17	111,91	1549,3	33,81
6:00	4,00	44,92	28,66	306,36	242,59	451,55	1835,4	44,87
7:00	12,69	107,12	7,64	340,89	94,04	824,15	2053,5	35,50
8:00	4,00	102,84	4,00	479,42	949,93	2411,8	2136,6	60,66
9:00	4,00	126,70	4,00	414,86	1277,3	2121,6	2249,2	61,06
10:00	4,00	102,87	4,00	479,08	1148,4	2372,6	2474,4	39,04
11:00	4,00	66,00	8,32	779,56	2070,7	1040,8	2592,0	49,39
12:00	17,408	57,45	5,59	1004,5	1536,5	1948,1	2985,9	152,06
13:00	4,00	36,07	26,17	1791,9	2371,2	1409,4	3529,1	108,12
14:00	4,00	4,49	34,53	1969,9	1679,1	865,4	4657,8	124,14
15:00	25,57	47,07	40,50	2429,2	3123,2	1199,5	6192,5	157,05
16:00	5,98	153,68	122,41	2888,2	3352,7	1627,7	5962,2	173,26
17:00	13,35	212,29	138,55	2313,3	4387,8	2258,4	5382,2	512,64
18:00	33,89	312,70	403,23	2074,5	3759,8	10968	5021,0	614,48
19:00	20,23	310,56	366,55	1579,1	3586,5	2822,7	3076,6	442,49
20:00	43,19	373,58	128,38	1196,9	2995,9	905,38	2202,2	529,85
21:00	7,36	291,52	7,76	1288,6	2590,3	327,84	2453,3	351,47
22:00	19,75	363,18	64,78	1068,1	947,53	238,88	2411,1	300,12
23:00	63,99	396,64	92,89	858,57	1195,0	84,59	1704,9	229,45

Таблица 12 – Сравнение расчетных значений методом линейной регрессии и данных полученных с КА

часы	5 марта		6 марта		7 марта	
	Полученные С КА	Прогнозные	Полученные С КА	Прогнозные	Полученные С КА	Прогнозные
0:00	1315,488	170,390	1117,507	429,287	61,597	968,534
1:00	1445,635	422,477	629,724	304,944	182,683	1034,139
2:00	1321,186	293,139	219,418	282,863	94,879	894,943
3:00	1518,125	260,926	1101,254	98,170	140,724	871,026
4:00	1525,523	245,563	580,751	79,562	75,563	973,103
5:00	1402,814	326,651	281,880	17,131	38,907	509,343
6:00	1382,574	280,138	27,753	7,027	40,010	1209,921
7:00	1159,581	263,100	44,003	76,254	39,404	1239,726
8:00	1328,027	295,179	113,160	122,379	51,983	1215,279
9:00	1129,668	386,860	53,515	204,177	111,383	1429,475
10:00	1507,633	331,930	53,077	375,797	110,899	1612,320
11:00	2467,903	511,973	116,091	393,048	149,062	1696,051
12:00	3059,650	796,968	319,694	681,600	234,706	2031,350
13:00	3694,264	1169,190	841,071	858,744	265,948	2274,477

14:00	4468,486	1458,685	1000,396	1088,329	376,824	3012,865
15:00	4579,330	2517,610	1207,322	1421,092	446,594	3530,717
16:00	4719,957	5480,695	1363,832	1743,304	573,386	3642,246
17:00	5277,793	3319,793	1371,450	1698,612	873,249	3867,506
18:00	5025,626	1923,688	1107,188	1829,552	1055,912	3337,749
19:00	5043,696	4187,307	1092,218	1612,009	1049,648	3180,087
20:00	3316,832	2647,470	789,256	1397,042	817,082	3230,123
21:00	2532,739	1485,070	626,043	1378,404	807,753	1728,990
22:00	1955,283	1012,538	393,976	1242,411	750,915	1132,493
23:00	1279,885	560,825	244,853	1153,362	646,681	267,588

На рисунке 13 в виде графиков представлены данные прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ, рассчитанные методом линейной регрессии на 2 марта 2021 года и сравнение их с полученными позже измеренными значениями от космического аппарата на эту же дату.

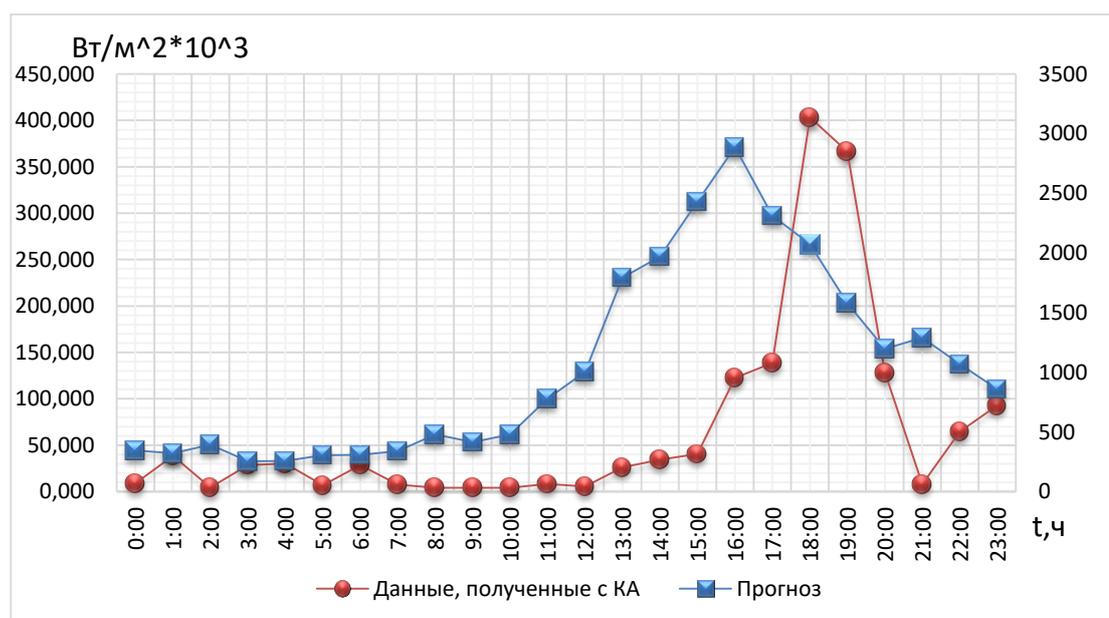


Рисунок 13 – Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом линейной регрессии на 2 марта 2021 и на основе данных полученных позже от КА на эту же дату

На рисунке 14 в виде графиков представлены данные прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ, рассчитанные методом линейной регрессии на 2 марта 2021 года и сравнение их с полученными позже измеренными значениями от космического аппарата на эту же дату.

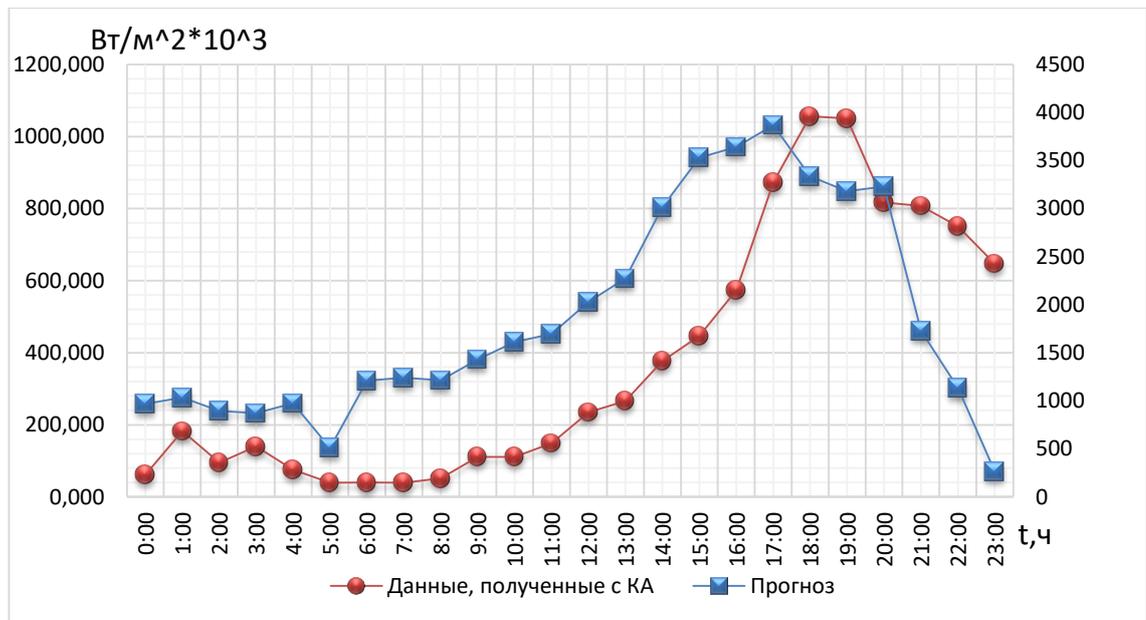


Рисунок 14 – Графики зависимости плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ от времени: рассчитанные методом линейной регрессии на 7 марта 2021 и на основе данных полученных позже от КА на эту же дату

Сравнивая расчетные значения плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ и значения, полученные спустя неделю от спутника, можно увидеть, что прогнозирование методом экспоненциального сглаживания показало наибольшую сходимость результатов, чем прогнозирование методом линейной регрессии. Анализируя представленные графики не трудно заметить, что кривые прогнозирования, построенные по методу Брауна, имеют более точную повторяемость за кривыми, данными для которых послужили значения, полученные позже на эту же дату от космического аппарата.

Таким образом, проведенный анализ расчетных данных прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ с использованием различных методов экстраполяции, показал, что для проведения краткосрочного прогнозирования космической погоды наиболее эффективен метод экспоненциального сглаживания.

При сравнении суточных и недельных прогнозов, суточные оказались наиболее точными.

3 ОХРАНА ТРУДА

При выгрузке данных и прогнозировании космической погоды необходима работа с компьютером. Для обеспечения безопасной работы с компьютером предусмотрены требования охраны труда.

3.1 Основные вредные факторы при работе с ПК

Реализуемые меры безопасности при работе с ПК должны обеспечивать минимизацию рисков, перечисленных в ГОСТ 12.0.003-2015. В первую очередь к ним относятся:

- повышенная температура отдельных элементов компьютера;
- монотонность трудового процесса;
- высокий уровень зрительных нагрузок;
- вероятность поражения статическим электричеством;
- недостаточная освещенность в зоне выполнения операций;
- высокий уровень напряженности электрического и магнитного полей;
- другие факторы. [27]

3.2 Общие требования к организации и оборудованию рабочего места

В разделе 9 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 выделяются следующие основные требования техники безопасности при работе за компьютером в постоянном режиме:

- рабочие места изолированы друг от друга и обеспечиваются организованным воздухообменом. Если занимающие их сотрудники заняты творческой деятельностью, рекомендуется оборудовать их места перегородками высотой 1,5-2 метра; [27]
- конструкция кресла регулируется, чтобы обеспечить соответствие его положения индивидуальным физическим параметрам сотрудника. Его поверхность должна быть нескользящей и давать возможность легкой чистки;
- конструкция стола должна обеспечивать рациональное и удобное размещение имеющегося оборудования и иметь коэффициент отражения, не превышающий 0,7. [27]

3.3 СанПин: гигиенические требования при работе за компьютером

Согласно действующим санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 к персональным компьютерам, используемым в деятельности сотрудников, применяются требования о соответствии следующих параметров установленным нормативам:

- звуковое давление;
- характеристики временных электромагнитных полей, создаваемых компьютерами;
- визуальные параметры устройств для отображения информации;
- концентрация вредных веществ, выделяемых техникой в атмосферный воздух помещения;
- мощность экспозиционной дозы генерируемого мягкого рентгеновского излучения;
- коэффициент отражения и блесккость;
- яркость и контрастность;
- другие параметры. [27]

3.4 Требования к помещению при работе за компьютером

Актуальные правила техники безопасности при пользовании компьютером устанавливают следующие требования к помещению:

- помещение должно иметь оконные проемы для проникновения естественного света, ориентированные преимущественно на север или северо-запад. Работа в офисах без естественного освещения допускается только после проведения специальных расчетов, обосновывающих эквивалентность организованного искусственного освещения нормативам естественного света;
- окна в помещении следует оборудовать устройствами для регулирования яркости естественного освещения, такими как шторы, жалюзи и проч.;
- допустимая площадь одного рабочего места сотрудника должна составлять не менее 6 квадратных метров, а при условии, что в работе используются плоские мониторы жидкокристаллического или плазменного типа – 4,5 квадратных метра;

– внутренняя отделка помещения должна производиться с использованием материалов, имеющих санитарно-эпидемиологические заключения, подтверждающие их безопасность. Максимальный коэффициент отражения используемых материалов составляет для потолка – 0,8, для стен – 0,6, для пола – 0,5;

– помещение должно находиться вдали от силовых кабелей, высоковольтных трансформаторов и другого оборудования, способного создавать помехи для офисной техники. В комнатах необходимо организовать защитное заземление, обеспечивающее безопасную работу компьютеров. [27]

3.5 Правила безопасности при работе на компьютере

1. Необходим стул переменной высоты.
2. Высота спинки стула – до середины лопаток.
3. Ширина стула от 90 см., высота 60 – 72 см.
4. Экран должен быть удален от тела не менее чем на 50 см.
5. Верхняя строка монитора должна находиться на уровне взгляда.
6. Монитор должен быть со слабым излучением (пониженная яркость).

Обязательная техника безопасности при работе на ПК требует выполнения следующих нормативов при размещении монитора:

– расстояние между столами сотрудников составляет не менее 2 метров, а между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 метра;

– экран используемого монитора находится на расстоянии 0,6-0,7 метра от глаз работника.

При этом электростатический потенциал дисплея не должен превышать 500 В.

Режим труда и отдыха при работе с компьютером.

Безопасные правила поведения и техники выполнения трудовых операций приведены в Типовой инструкции ГОИ Р-45-084-01. В зависимости от категории выполняемой работы и уровня зрительной нагрузки, приходящейся на сотрудника в течение смены, суммарное время перерывов в зависимости от ее продолжительности составляет при 8-часовой смене – от 30 до 70 минут. [27]

Требования к оборудованию рабочих мест.

Раздел 10 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 устанавливает, что техника безопасности при использовании ПК предусматривает, что работодатель при организации работы сотрудников обязан обеспечить выполнение следующих условий. [27]

Таблица 13 – Требования к оборудованию рабочих мест [27]

Регламентируемый объект	Высота	Глубина	Ширина	Дополнительные требования
Рабочий стол	Для регулируемого стола – 60-80 см, для нерегулируемого стола - 72,5 см	80 – 100 см в зависимости от габаритов используемого оборудования	80 – 100 – 120 – 140 см в зависимости от габаритов используемого оборудования	Размещение клавиатуры на расстоянии 10 – 30 см от края стола или на отдельной выкатной поверхности
Пространство для ног	Не менее 60 см	На уровне колен – не меньше 45 см, на уровне вытянутых ног – не меньше 60 см	Не менее 50 см	-
Подставка для ног	Регулируемая высота в пределах 15 см	Не менее 40 см	Не менее 30 см	Регулировка по углу наклона до 20 градусов
Рабочий стул	Для опорной поверхности спинки - не менее 28 см	Для сиденья - не менее 40 см	Для сиденья - не менее 40 см, для спинки - не менее 38 см	Регулировка спинки по углу наклона до 30 градусов, сиденья по углу наклона вперед – 5 – 15 градусов. Наличие регулируемых подлокотников

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Исходя из того, что данные мониторинга космической погоды находятся в открытом доступе, поэтому стоимость составления прогнозов определяется только заработной платой инженера – оператора.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Инженер – оператор работает 5 дней в неделю по 6 часов и дополнительно 3 часа каждую неделю.

Таблица 14 - Количество затраченных часов на работу инженера – оператора КП

Этапы прогнозирования	Количество затраченных часов на работу
Выгрузка данных с официального сайта прогноза КП	В день 1ч
Заполнение таблиц MS Excel данными полученными с официального сайта КП	В день 2 ч
Расчет суточных прогнозов космической погоды в течение месяца	В день 2 ч
Расчет недельных прогнозов в течение месяца	Раз в неделю 3 ч
Составление бюллетеней с прогнозом КП	В день 1 ч

Таким образом количество рабочих часов оператора в месяц составляет:

$$T_M = 4 \cdot 5 \cdot 6 + 3 \cdot 4 = 132 \text{ (ч.)} \quad (3)$$

Месячный должностной оклад инженера – оператора космической погоды определяется по формуле:

$$Z_M = Z_6 \cdot k_p = 10300 \cdot 1,2 = 12360, \quad (4)$$

где Z_6 – базовый оклад равный 10300(руб.);

k_p – районный коэффициент ($k_p = 1,2$ для Благовещенска).

За час работы инженер оператор получает:

$$Z_{\text{ч}} = \frac{Z_M}{T_M} = \frac{12360}{132} = 93,6 \text{ (руб.)} \quad (5)$$

Трудоемкость инженера оператора в месяц составляет 132 ч., а в год 1584 ч. Таким образом средняя заработная плата инженеру – оператору в год составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 93,6 \cdot 132 \cdot 12 = 148262,4 \text{ (руб.)} \quad (6)$$

Также необходимо учитывать дополнительную заработную плату рабочим, которая составляет 10% от основной заработной платы. В данном случае дополнительная заработная плата инженера оператора космической погоды в месяц составляет:

$$Z_{\text{д}} = 0,1 \cdot Z_M = 0,1 \cdot 12360 = 1236 \text{ (руб.)} \quad (7)$$

Каждый месяц является необходимостью отчислять от основной заработной платы процент на социальное страхование работников, пенсионный фонд,

медицинское страхование. Отчисление во внебюджетные фонды вычисляются по формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{м}} + Z_{\text{д}}) = 0,3 \cdot (12360 + 1236) = 4078,8(\text{руб.}), \quad (8)$$

где $k_{\text{внеб}} = 0,03$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

Таким образом месячный должностной оклад инженера – оператора космической погоды с учетом дополнительной заработной платы составляет 13569 рублей. С отчислением во внебюджетные фонды составляет 9517,2 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы были определены факторы космической погоды, изучено влияние радиоактивного излучения на ракетно-космическую технику. Космическая радиация представляет значительную опасность для космических систем. Для того чтобы избежать серьёзных последствий предусмотрен мониторинг около наземной радиации. Также в работе были представлены общие сведения о диагностике и прогнозировании космической погоды, методы и проблемы прогноза космической погоды. Таким образом можно сказать, что проблема мониторинга космической погоды на сегодняшний день представляется практически решенной, также спутниковые наблюдения в точке либрации позволяют достаточно точно (на 95%) предсказать все возмущения магнитосферы, но с малой задержкой (30-60 минут). Современная наука может успешно объяснить происхождение почти всех сильных геомагнитных возмущений, но не может с достаточной степенью достоверности (лучше 50%) заблаговременно (1-2 суток) предсказать их возникновение на основе наблюдений Солнца.

Для решения имеющихся проблем в ходе выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены различные математические модели прогнозирования. Наиболее подходящими оказались: метод линейной регрессии и метод экспоненциального сглаживания.

Проведенные в работе исследования прогнозирования дали следующие результаты: анализ расчетных данных прогнозирования плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ с использованием различных методов экстраполяции, показал, что для проведения суточного прогнозирования космической погоды наиболее эффективен метод экспоненциального сглаживания; в недельных прогнозах метод экспоненциального сглаживания оказался наиболее эффективным чем метод линейной регрессии. Сравнения расчетных значений плотности потока электронов энергиями $E > 2$ МэВ и значений, полученных спустя неделю от

спутника, показало, что прогнозирование методом экспоненциального сглаживания имеет наибольшую сходимость результатов, чем прогнозирование методом линейной регрессии.

Из Анализа представленных в работе графиков не трудно заметить, что кривые прогнозирования, построенные по методу Брауна, имеют более точную повторяемость за кривыми, данными для которых послужили значения, полученные позже на эту же дату от космического аппарата.

Таким образом, с помощью метода экспоненциального сглаживания можно строить прогнозы космической погоды для определения риска тем или иным космическим миссиям; предупреждать о возникновения повышенной солнечной радиации и благоприятных днях для запуска РН.

ПРИМЕЧАНИЕ

Автор выражает признательность доктору физико-математических наук, заведующему отделом космических наук МГУ В.В. Калегаеву за совместное участие в качестве соавтора подготовки тезисов для конференции «XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства» проходящей в Москве в МГТУ им. Н.Э. Баумана 2021 г.

Результаты данной работы прошли апробацию:

1. «Оперативный мониторинг околоземной радиации» А.С. Надточий, Д.В. Фомин, В.В. Калегаев ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ // Конференция «XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства» 2021 г.;

2. «Краткосрочное прогнозирование космической погоды на основе метода экспоненциального сглаживания» Надточий А.С., Фомин Д. В.// Журнал «Вестник АмГУ» №93, 2021г. С – 41 – 45;

3. Доклад XXX научной конференции Амурского государственного университета «День науки» на секции «Ракетно – космической техники».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов, В. Д. Космическая погода и риски космической деятельности / В. Д. Кузнецов // Космическая техника и технологии. – 2014. – № 3(6). – С. 3-13.
2. Cosmatica.org [Электронный ресурс]: официальный сайт – 31.05.2009. Режим доступа: <https://cosmatica.org/articles/733-vozdeistvie-kosmicheskoi-pogody-na-pogodu-i-klimat-zemli.html>. – 15.04.2021 г.
3. Солнечные факторы, определяющие состояние космической погоды, и задачи их прогнозирования / В.П. Максимов ИСЗФ СО РАН // Журнал «Солнечно – земная физика» Иркутск, № 1, 2002 г. – С. 1-2.
4. Магнитные бури в октябре 2003 года коллаборация солнечных экстремальные события 2003 года (СЭС – 2003) / М. И. Панасюк, С. Н. Кузнецов, Л. Л. Лазутин и др. // Космические исследования. – 2004. – Т. 42, № 5. – С. 2 – 3.
5. Dna.com. [Электронный ресурс]: официальный сайт – 14.04.2019 г. Режим доступа: http://dna.com.ua/radiazionie_poyasa_zemli.html. – 18.05.2021 г.
6. Солнечные источники космической погоды / В.Д.Кузнецов // Журнал «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле», № 1 Москва 2012 г. – С.11 – 27.
7. Универсальная платформа полезной нагрузки для малых спутников стандарта CubeSat / Д.В. Фомин, Д.О. Струков, А.С. Герман // Изв. вузов. приборостроение. Т. 61, № 5. 2018. – С. 185 – 189.
8. Твердофазный рост и структура плёнок дисилицида бария на Si(111) / В.Л. Дубов, Д.В. Фомин, Н.Г. Галкин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета Т. 15, № 2, 2016. – С. 114 – 121.
9. Дозиметрический контроль на борту космических аппаратов с помощью МДП дозиметров / Мещуров О.В., Таперо К.И., Емельянов В.В., Улимов В.Н., Артемов А.Д., Калинин И.Ю., Орлов В.А. // Научно-технический сборник «Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру» № 1, 2015 г., г. Москва – С. 7 – 10.

10. Геоэффективная активность солнца: от краткосрочного прогноза вспышечных явлений до долгосрочного прогноза солнечных циклов / В.Н. Ишков. // Журнал «Институт Космических Исследований» ИЗМИРАН, № 1, Троицк Московской, 142190, Россия, 2004 г. – С. 2 – 4.

11. Space. msu [Электронный ресурс]: официальный сайт – 19.02.2003 г. Режим доступа: <http://space.msu.ru/irkutsk/eselevich.htm>. – 8.03.2021 г.

12. Geomagnetic storm predictions from solar wind data with the use of dynamic neural networks, J. Geophys., res. / Wu, J.-G. and H. Lundstedt 1997, 102, 14255-14268.

13. Влияние космической погоды на безопасность авиа и космических полетов / Ю.И. Гальперин, А.В. Дмитриев // Общероссийский научно-технический журнал «Полет» г. Москва, Россия, № 3, 2001 г. – С. 9 – 11.

14. Универсальная платформа полезной нагрузки для малых спутников стандарта CubeSat / Д.В. Фомин, Д.О. Струков, А.С. Герман // Изв. вузов. приборостроение. Т. 61, № 5. 2018. – С. 185 – 189. DOI 10.17586/0021-3454-2018-61-5-446-449.

15. Modeling of threedimensional inhomogeneous thermal fields of nanosatellite electronic boards, electronic / Barulina M.A., Golikov A.V., Fomin D.V., Strukov D.O. // Information Systems. 2018. № 2 (17). P. 22.

16. Многофункциональный блок полезной нагрузки наноспутника формата CubeSat 3U" / Фомин Д.В., Струков Д.О., Бузиков Р.А. // Патент на полезную модель 201712 U1, 29.12.2020. Заявка № 2020116900 от 12.05.2020.

17. 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, 173: AAS 20 – 274, 2020.

18. 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. Калегаев, П.А. Климов, В.И. Оседло, М.И. Панасюк, В.Л. Петров,

О.Ю. Перетятыко, М.В. Подзолко, С.И. Свертилов //Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 2020, №6, С – 135 – 141.

19. Swx.sinp.msu.ru [Электронный ресурс]: официальный сайт – 26.11.2012 г. Режим доступа: <http://swx.sinp.msu.ru/index.php> – 12.03.2021 г.

20. The Fundamental Theory of Exponential Smoothing, Operations Research / BROWN, R. G. – MEYER, R. F., 9, 673 – 685, 1961.

21. Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted averages / HOLT, C. C. // O.N.R. Memorandum 52/1957, Carnegie Institute of Technology, 1957.

22. Практическое применение количественных методов прогнозирования // П.В. Будаев ISSN 1681–6048 System Research & Information Technologies, 2009, № 2 С – 97.

23. Использование метода экспоненциального сглаживания в рамках прогнозирования финансовых результатов / Лукина Е.А., Квач Н.М Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) // Журнал «Вектор» г. Москва, Россия, № 1. 2017 г. – С. 65 – 66.

24. Прогнозирование по методам простого и двойного экспоненциального сглаживания / Тарджуманян А.А // Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038, ISSN 2307-0609г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Финансы» С – 2.

25. Iki.rssi.ru [Электронный ресурс]: официальный сайт – 13.12.2005 г. Режим доступа: <http://www.iki.rssi.ru/puschino/ppt/ish.doc>. – 14.04.2021 г.

26. Nuclphys.sinp.msu.ru [Электронный ресурс]: официальный сайт – 9.09.2017 г. Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/cosmw/cosmw4.htm>. – 6.05.2021 г.

27. Centrattek.ru [Электронный ресурс]: официальный сайт – 23.08.2014 г. <https://www.centrattek.ru/info/tekhnika-bezopasnosti-pri-rabote-s-kompyuterom-razyasneniya/>. – 15.02.2021 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

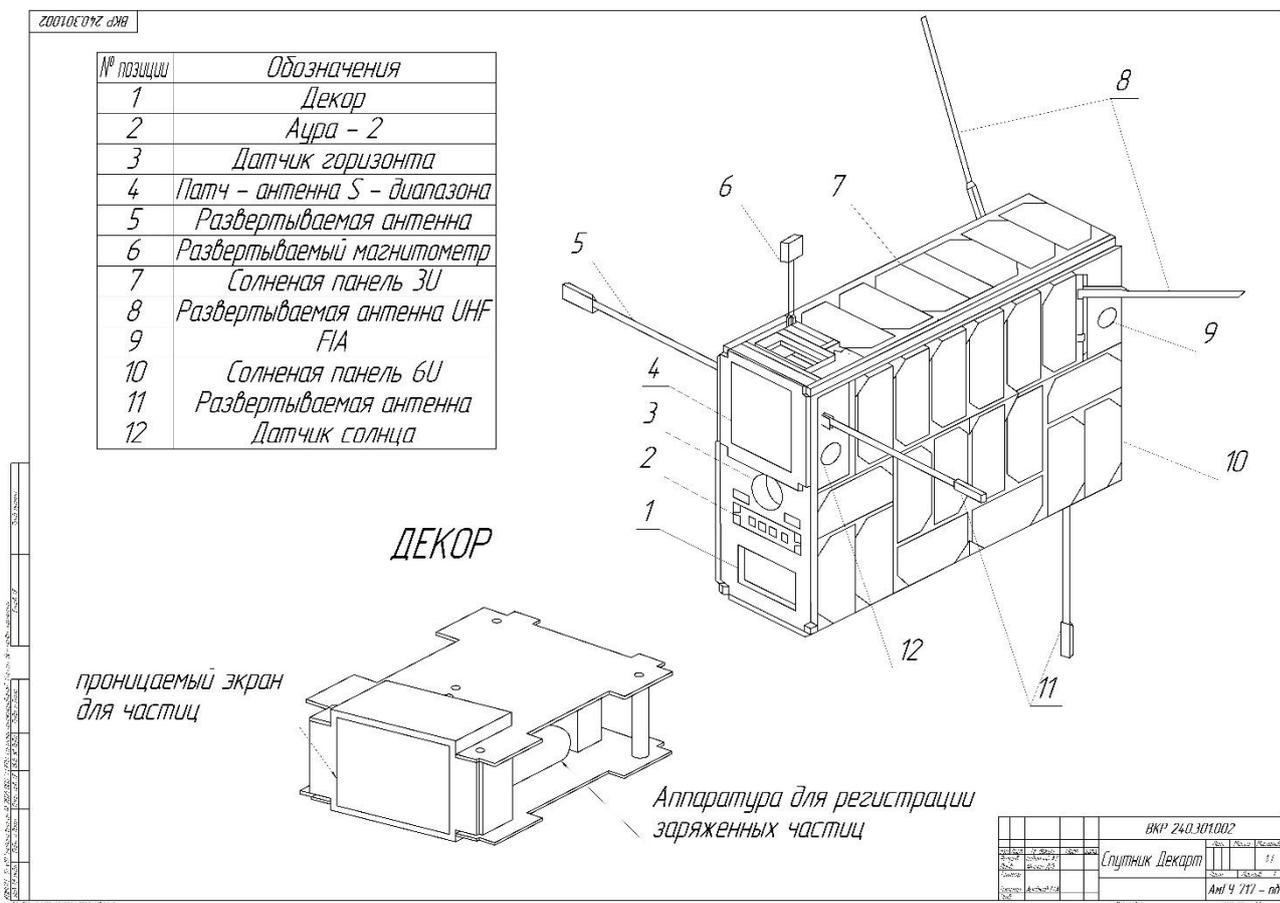


Рисунок А.1 – Чертеж спутника «Декарт» и полезной нагрузки «Декор»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

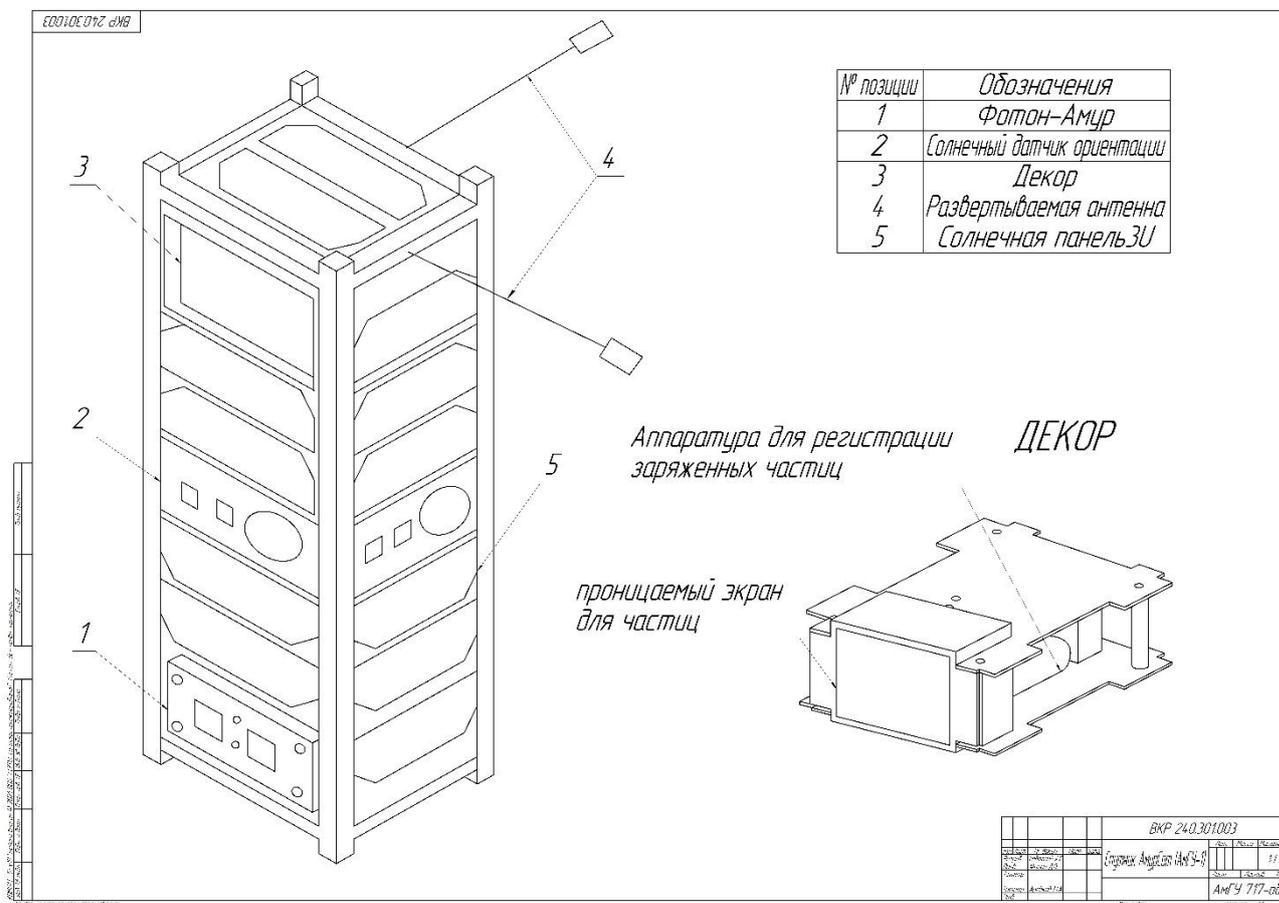


Рисунок Б.1 – Чертеж спутника АмурСат (АмГУ-1) и полезной нагрузки «Декор»

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В1 – Операционно-технологическая карта по приему и обработке данных космической радиации полученных со спутников группировки «Универсат» имеющие прибор «ДеКор»

Общие технологические требования, требования техники безопасности при проведении работ прогнозирования космической погоды		
Номер перех.	Содержание перехода	Особые указания
1	К выполнению работы допускаются лица, ознакомленные с техникой безопасности при работе с компьютером, прошедшие соответствующее обучение по работе с программным обеспечением, обладающие практическими навыками и знаниями по работе с инструментами MS «Excel»	

2	<p>Перед началом работ провести первичный инструктаж по технике безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - мер безопасности при работе с электро – оборудованием; - мер пожарной безопасности; 	
Прием информации и ее расшифровка со спутников, на которых установлен прибор регистрации радиоактивного излучения;		
1	Получить задание на прием и обработку радиоактивного излучения	Задание должно содержать: время и дату на которое нужно составить прогноз; регион для которого нужен прогноз; значение энергий электронов или протонов необходимых для выбора спутника
2	Получить допуск к данным (логин и пароль от ПК, и т.д.)	
Выгрузка данных с официального сайта прогноза космической погоды НИИЯФ МГУ		
1	<p>Перейти по ссылке http://swx.sinp.msu.ru/index.php</p>	Использовать браузер Google Chrome или Mozilla Firefox не ниже версии 74.0.1

2	На главной странице http://swx.sinp.msu.ru/index.php перейти к сервису «инструменты»	
3	В каталоге данных выбрать спутник	Спутник выбирается для заданного региона
4	Согласно заданию, определиться в выборе вида факторов космической погоды и необходимых энергий радиоактивного излучения для данного спутника	При необходимости выбрать общие шаблоны
5	Выбрать общие шаблоны для определенного спутника	Шаблон должен содержать потоки электронов/протонов с нужными энергиями
6	Настроить временной интервал, для которого нужно получить данные	Выбрать годовой интервал(с 01.01.2000 до текущей даты)/ Выбрать интервал внутри года (минимум - 2 недели, максимум - 9 недель)
7	Выгрузить числовые данные при помощи команды «Сохранить данные в файл», загрузить	Для сохранения данных использовать папку на рабочем столе «Мониторинг КП»

	график с помощью инструмента «Нарисовать»	
8	Заполнить таблицу MS Excel сохраненными в файле данными в папке «Мониторинг КП»	Для заполнения использовать книгу MS Excel «Сбор данных КП»
Построение прогнозов методом линейной регрессии при помощи функционала MS Excel		
1	На рабочем столе в папке« Мониторинг КП» открыть книгу MS Excel « Прогноз методом линейной регрессии»	
2	Ввести номера периодов (1, 2, 3, ..., n) и данные, полученные с КА (за неделю/сутки) в заранее подготовленную таблицу MS Excel	Для номеров периодов использовать ячейки A1 – A24(для составления суточных прогнозов), A1 – A168 (для недельных прогнозов); для данных мониторинга использовать ячейки B1-B24(данные за сутки), B1 – B168 (для недельных прогнозов)
3	Определить коэффициенты уравнения $y = bx + a$ пользуясь функцией «ЛИНЕЙН»	Выделив 2 ячейки D1 и E1 ввести массив: =ЛИНЕЙН (B1:B24; A1:A24) – для суточных прогнозов/

	<p>Выделить ячейку с формулой и соседнюю, правую, ячейку так чтобы активной оставалась ячейка с формулой.</p> <p>Нажать кнопку F2. Затем Ctrl + Shift + Enter (чтобы ввести массив функций для обеих ячеек). Таким образом получаем сразу 2 значения коэффициентов для (a) и (b)</p>	<p>=ЛИНЕЙН(B1:B168; A1:A168)- для недельных прогнозов</p>
4	<p>Рассчитать для каждого периода у-значение линейного тренда. Для этого в известное уравнение подставить рассчитанные коэффициенты (a) и (b)</p>	<p>В ячейке G1 Записать уравнение в виде =A1*\$D\$1+\$E\$1 и протянуть ячейки до конца номеров периода</p>
5	<p>Найти отклонение фактических данных от значений тренда. Для этого нужно разделить имеющиеся данные за час на</p>	<p>В ячейку H1 ввести формулу: = B1/G1 и протянуть ячейки до конца номеров периода</p>

	полученное в пункте 4 значение тренда	
6	Рассчитать среднее значение имеющихся данных (за неделю/сутки)	В ячейке L1 написать формулу =СРЗНАЧ(C1:C24) для суточных прогнозов / =СРЗНАЧ(C1:C168) для недельных
7	Определить коэффициент, учитывающий временную неравномерность. Данный показатель, зафиксированный КА в течение часа, разделить на среднее значение всех данных (за неделю/сутки)	В ячейку M1 ввести формулу =B1/\$L\$1 и протянуть ячейки до конца номеров периодов
8	Продлить номера периодов временного ряда на необходимое количество	Продлить на 24 ячейки вперед для суточных прогнозов (в ячейках O1:O24) или на 168 ячеек вперед для недельных прогнозов (в ячейках O1:O168)
9	Рассчитать значения тренда для будущих периодов: изменив в уравнении линейной функции $y = bx + a$ значение x (номер периода)	В ячейку S1 ввести формулу: =D\$1·O1+E\$1 и протянуть ячейки до конца номеров периодов

10	На основе полученных данных составить прогноз космической погоды на следующие сутки или неделю с учетом коэффициента временной неравномерности	В ячейку T1 ввести формулу: = S1/ M1 и протянуть ячейки до конца номеров периодов
11	Построить график прогноза	По оси абсцисс отобразить время (интервал – час) по оси ординат данные прогноза изменяющиеся в течении суток/ недели
Построение прогнозов методом экспоненциального сглаживания при помощи функционала MS Excel		
1	На рабочем столе в папке« Мониторинг КП» открыть книгу MS Excel « Прогноз методом линейного тренда»	
2	В первой строке ввести временные интервалы, во второй строке значения суток/недели, соответствующие временному интервалу	Для суточных прогнозов использовать данные 4 дней предшествующих прогнозному: дату и время ввести в ячейки A1 – A96, значения данных ввести в ячейки B1 – B96, для недельных прогнозов использовать данные одной недели предшествующей прогнозной:

3	<p>Рассчитать временную неравномерность. Для этого сумму диапазонов по известным периодам (дням) разделить на сумму этих чисел и умножить на количество часов в сутках</p>	<p>в ячейки А1 – А168 ввести дату и время Для суточных прогнозов: в ячейку F1 ввести формулу: $= ((B1:B24+B25:B48+B49:B72+B73:B96)/СУММ(B1:B96))\cdot 24$ и протянуть на 24 ячейки вперед</p>
4	<p>Продлить временной интервал на сутки/неделю для которого нужен прогноз</p>	<p>Для суточных прогнозов в ячейку А97 – А120 ввести дату и время; для недельного прогноза в ячейку А169 – А337 также ввести дату и время. Например, в А169 написать 07.12. 2021 0:00</p>
5	<p>При помощи функции «ПРЕДСКАЗ» вычислить прогнозные значения. В качестве x вводятся временной интервал (0:00) часов, в качестве известных значений y данные по известным периодам (дням) и в качестве известных значений x временные интервалы</p>	<p>В ячейку В97 ввести формулу: =ПРЕДСКАЗ(A97; \$B\$1:\$B\$96;\$A\$1:\$A\$96)*ИНДЕКС(F\$1:F\$24;ЧАС(A97)) и протянуть на 24 ячейки вперед – для суточных прогнозов; В ячейку В169 ввести формулу: =ПРЕДСКАЗ(A169;\$B\$1:\$B\$168;\$A\$1:\$A\$168)*ИНДЕКС(F\$1:F\$24;ЧАС(A169)) и протянуть на 168 ячеек вперед – для недельных прогнозов;</p>

6	Построить график прогноза	По оси абсцисс отобразить время (интервал – час) по оси ординат данные прогноза изменяющиеся в течении суток/ недели
Составить бюллетень с прогнозом на определенный день/неделю		
1	По данным прогноза определить максимальное отклонение энергии и сравнить с критическим.	Если прогнозное значение энергии превышает критичное значение допустимых энергий и является опасным для проведения работ в космосе, при пусках РН, то сообщить выше стоящим инстанциям с указанием даты и времени повышенного радиоактивного излучения
2	На основе полученных данных прогнозирования выбрать благоприятный промежуток времени для запусков КА	