

Предсказуема ли космическая погода?

Идея «космической погоды», или влияния солнечной активности на живой и неживой мир, а также на социальные процессы, была высказана выдающимся российским ученым А.Л.Чижевским в начале прошлого века. Первоначально его взгляды не были восприняты научным миром и их даже причислили к разряду мистических.

Однако в наши дни метеослужбы нередко предупреждают о вспышках на Солнце и возникновении геомагнитных бурь. Словосочетание «магнитная буря» прочно вошло в обиход, тем не менее механизм образования бури и ее последствия многим не до конца понятны, отсюда и возникают всевозможные «кривотолки».

Для того чтобы понять, что такое космическая погода и насколько «вредны» магнитные бури, мы обратились к **Анатолию Петруковичу**, д.ф.-м.н., заведующему лабораторией динамики энергичных частиц и космической погоды Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН).



– Анатолий Алексеевич, каков механизм возникновения магнитной бури?

– Солнце является чрезвычайно стабильным термоядерным источником; из внешней оболочки светила, из его короны, постоянно дует «солнечный ветер», представляющий собой поток горячей плазмы,

движущийся в межпланетном пространстве со скоростью до 1000 км/с. Этот поток распространяется по всей Солнечной системе.

Так же, как губительное для биосферы излучение Солнца поглощается земной атмосферой, солнечный ветер задерживается магнитным полем нашей планеты. Поток солнечной плазмы не смешивается с геомагнитным полем и околоземной плазмой, а обтекает их, образуя магнитосферу Земли.

Во время всплесков активности, учащающихся в максимумах 11-летнего цикла, в короне Солнца рождаются интенсивные потоки рентгеновского излучения и энергичных заряженных частиц – солнечных космических лучей, а также происходят выбросы огромных масс плазмы и магнитного поля (магнитных облаков) в межпланетное пространство. Иногда эти выбросы достигают нашей планеты, тогда возможно возникновение в магнитосфере Земли геомагнитной бури.

Бури не возникнет, если поле облака будетсонаправлено с полем Земли. Плазма просто обтечет земную магнитосферу. Однако, когда межпланетное и геомагнитное поля направлены противоположно, начинается процесс так называемого пересоединения, или аннигиляции, магнитных полей, и магнитный щит Земли частично разрушается. Приток энергии в магнитосферу значительно возрастает, а временным резервуаром для этой энергии становится ночная часть магнитосферы – геомагнитный хвост. Хвост периодически теряет устойчивость, и избыточная энергия сбрасывается обратно в солнечный ветер и во внутреннюю магнитосферу. Фактически происходит обрыв части магнитного хвоста, а его остаток поджимается к Земле. Ионы и электроны, попадающие из хвоста в полярную ионосферу, сталкиваются с нейтральными атомами и заставляют их испускать фотоны. Именно так возникают полярные сияния. Надо отметить, что эти процессы в той или иной форме идут постоянно, так как межпланетное магнитное поле и солнечный ветер есть всегда. Магнитное облако можно рассматривать как аномальное усиление интенсивности солнечного ветра, вызывающее значительное возмущение всей магнитосферы Земли, которое, собственно, и называется геомагнитной бурей.

– Как влияют магнитные бури на космическую технику?

– Наиболее известное проявление «недружественности» космического пространства к человеку и его творениям, после вакуума, конечно, – это космическая радиация, интенсивность которой многократно увеличивается после солнечных вспышек и магнитных бурь. Поэтому требование радиационной стойкости является одним из определяющих при создании космической техники.

Например, во внешнем радиационном поясе наиболее эффективно удерживаются энергичные электроны. Количество частиц этого пояса очень нестабильно и многократно возрастает во время магнитных бурь за счет вброса плазмы из внешней магнитосферы. К сожалению, именно по внешней периферии этого пояса проходит геостационарная орбита, незаменимая для размещения спутников связи. Кроме радиационного ущерба, на первый план выходит и проблема электризации спутников. Дело в том, что любой объект, погруженный в плазму, должен находиться с ней в электрическом равновесии. Поэтому он поглощает некоторое количество электронов, приобретая отрицательный заряд и соответствующий «плавающий» потенциал, примерно равный характерной энергии электронов, выраженной в электронвольтах. Появляющиеся во время магнитных бурь облака горячих (до десятков килоэлектронвольт) электронов придают спутникам дополнительный и неравномерно распределенный – из-за различия электрических характеристик элементов поверхности – отрицательный заряд. Разность потенциалов между соседними деталями спутников может достигать десятков киловольт, провоцируя спонтанные электрические разряды, выводящие из строя электрооборудование.

Еще одним эффектом является нагрев и раздувание ионосферы, поглощающей рентгеновское излучение солнечной вспышки. Плотность плазмы и нейтрального газа на высоте нескольких сотен километров увеличиваются, создавая значительное дополнительное аэродинамическое сопротивление движению спутников и пилотируемых аппаратов на низких орбитах. Пренебрежение этим эффектом может привести к нерасчетному торможению спутников. Пожалуй, самым печально известным случаем такой ошибки стало «досрочное» падение американской станции Skylab после крупнейшей солнечной вспышки 1972 г.

– Чем еще опасны магнитные бури для человека и его жизнедеятельности?

– Магнитные бури могут привести к ухудшению самочувствия у людей с ослабленным здоровьем; это известный факт, есть даже некоторая статистика. Например, количество людей, госпитализированных «скорой помощью», и число обострений сердечно-сосудистых заболеваний возрастает после магнитной бури. Однако общепринятого мнения у современной науки по этой проблеме еще не сложилось, и активные исследования продолжают. Например, в настоящее время разрабатываются теории, описывающие механизм влияния на организм слабых магнитных полей, порождаемых геомагнитными вариациями.

Помимо всего прочего, наступить человека может и космическая радиация: энер-

гичные частицы наиболее глубоко проникают в магнитосферу Земли в приполярных районах. Поэтому авиатрассы, проходящие в высоких широтах, значительно более опасны с точки зрения «получения дозы», чем низкоширотные. На высотах 9–11 км, где проходит большинство авиационных маршрутов, общий фон космической радиации уже настолько велик, что годовая доза, получаемая экипажами и оборудованием, должна контролироваться по правилам, установленным для радиационно опасных видов деятельности. Однако после наиболее мощных солнечных вспышек доза, полученная даже в течение одного трансполярного полета на пассажирском самолете, может быть больше, чем доза ста флюорографических обследований, что вынуждает всерьез рассматривать вопрос о полном прекращении полетов в такое время. К счастью, всплески солнечной активности подобного уровня регистрируются реже, чем один раз за солнечный цикл.

Что касается работы различной техники на Земле, то во время солнечных вспышек и магнитных бурь количество заряженных частиц в ионосфере увеличивается, причем так неравномерно, что создаются плазменные сгустки – нарушается ее структура и однородность. Это приводит к непредсказуемому отражению, поглощению, искажению и преломлению радиоволн. К примеру, ухудшается или пропадает коротковолновая связь, затрудняется работа систем навигации и радиолокации. Магнитные бури в высоких широтах могут практически полностью блокировать радиоэфир на несколько суток.

Возникающие во время бури магнитные вариации наводят разность потенциалов в протяженных проводниках с низким сопротивлением – линиях связи и электропередач, трубопроводах, рельсах железных дорог – полная сила индуцированных токов может достигать десятков ампер. Паразитные токи могут ускорить процесс коррозии или «доставлять неприятности» различным автоматическим системам.

В линиях электропередач, работающих на переменном токе частотой 50–60 Гц, индуцированные токи, меняющиеся с частотой менее 1 Гц, практически вносят только небольшую постоянную добавку к основному сигналу и должны были бы слабо влиять на суммарную мощность. Однако после аварии, произошедшей во время сильнейшей магнитной бури 1989 г. в канадской энергетической сети и оставившей на несколько часов половину Канады без электричества, такую точку зрения пришлось пересмотреть. Причиной аварии оказались трансформаторы. Тщательные исследования показали, что даже небольшая добавка постоянного тока может вывести из строя трансформатор, предназначенный для преобразования переменного тока. Дело в том, что постоянная составляющая тока вводит трансформатор в неоптимальный режим работы с избыточным магнитным насыщением сердечника. Это приводит к поглоще-

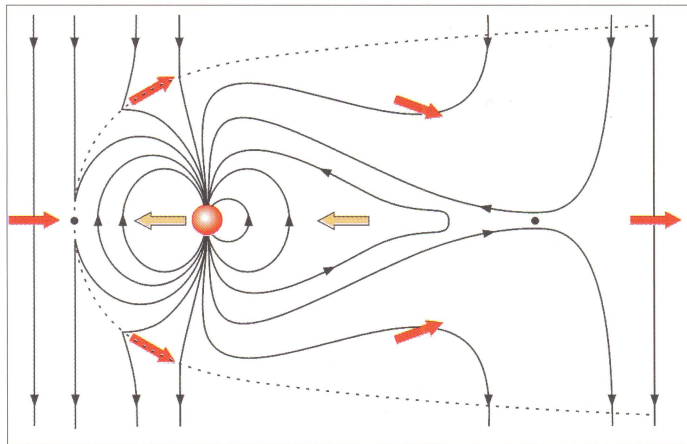


Схема взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли

нию энергии, перегреву обмоток и в конце концов к аварии. Последовавший анализ работоспособности всех энергетических установок Северной Америки выявил и статистическую зависимость между количеством сбоев в зонах повышенного риска и уровнем геомагнитной активности.

– Можно ли каким-то образом делать прогноз космической погоды и заранее предсказывать появление магнитных бурь?

– Да, можно. Источники геомагнитной активности находятся на Солнце. Так, магнитные облака достигают окрестностей Земли только спустя несколько дней после своего рождения. А солнечный свет проводит в пути всего лишь 8 минут. Эта разница в пространстве и во времени создает определенные удобства для прогноза, но все-таки не позволяет уверенно предсказать возникновение магнитной бури. Получившие широкое и в некотором смысле незаслуженное распространение в прессе сводки геомагнитной активности на 27 и 45 дней вперед основаны на простой экстраполяции солнечной активности по ее состоянию в течение предыдущего 27-дневного солнечного оборота, и поэтому носят весьма приблизительный характер.

Добиться большей конкретности прогноза можно только на ближайшие 3–7 дней. В этом случае достаточно сведений о видимой в данный момент части солнечной поверхности. Как только из-за края солнечного диска появляется новая активная область – группа пятен, выдается предупреждение о повышенной вероятности возникновения солнечных вспышек и соот-

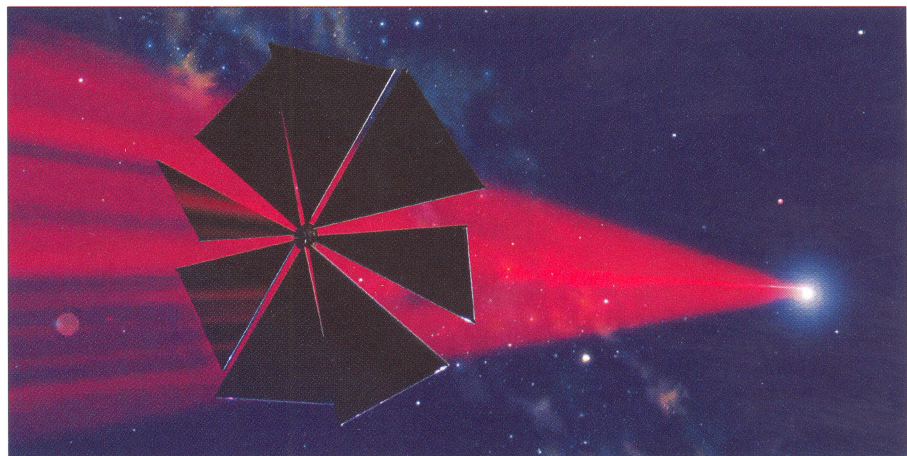
ветственно бурных всплесков геомагнитной активности в ближайшие дни. Хотя конкретное время начала вспышки или бури предсказать довольно трудно, эти все еще несколько расплывчатые прогнозы запрашивают, например, космические агентства, учитывающие радиационную опасность магнитных бурь при планировании работ космонавтов и астронавтов в открытом космосе.

За вспышками наиболее удобно следить, измеряя рентгеновское излучение Солнца на космических аппаратах: во время вспышки его интенсивность

подскакивает в сотни и тысячи раз. С Земли проводить подобный мониторинг невозможно, потому что рентгеновское излучение полностью поглощается атмосферой. Поэтому вот уже 30 лет, как эти наблюдения круглосуточно проводят американские геостационарные спутники GOES, непрерывно передавая результаты на Землю.

После того как солнечная вспышка зарегистрирована, дать прогноз, казалось бы, просто – событие уже произошло. Однако после подавляющего большинства вспышек магнитных бурь не происходит. Во-первых, достаточно мощные выбросы солнечного вещества, способные преодолеть притяжение Солнца и превратиться в магнитное облако, рождаются далеко не всегда. Во-вторых, хотя поперечник облаков у орбиты Земли может достигать нескольких миллионов километров, они все же остаются достаточно малыми в масштабах Солнечной системы и просто пролетают мимо. В-третьих, важно направление магнитного поля облака.

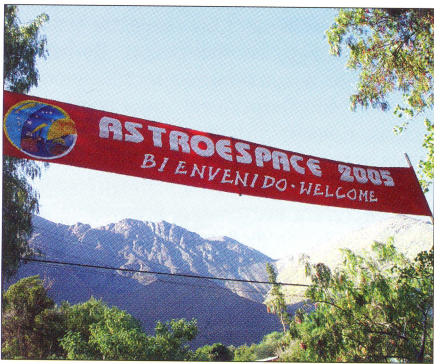
Вплоть до недавнего времени не представлялось возможным обнаружить магнитное облако после его расставания с Солнцем и до соударения с магнитным полем Земли. Сейчас зарегистрировать приближение к нашей планете облака и определить его параметры можно в так называемой точке либрации, находящейся на расстоянии 1.5 млн км от Земли в сторону Солнца. Здесь силы притяжения Солнца и Земли сбалансированы, и космический аппарат может на длительное время «зависать» вблизи линии Солнце–Земля, по которой двигаются опасные для Земли магнитные облака.



Проект КА «Клиппер» для службы космической погоды

Так как радиосигнал распространяется почти в тысячу раз быстрее солнечного ветра, то, сразу же передав на Землю информацию о прохождении магнитного облака из точки либрации по радиоканалу, можно опередить магнитную бурю на несколько десятков минут. В отличие от всех других типов прогноза, достоверность такого своего рода штормового предупреждения о надвигающемся ненастье близка к 100%, так как оно основано на прямых наблюдениях магнитного облака у самых границ околоземного пространства. Несмотря на свою относительную краткосрочность, этот вид прогноза в настоящее время стал необходимой составной частью службы космической погоды, особенно важной для технических подразделений, которые не могут прекращать свою деятельность «на всякий случай» после каждой солнечной вспышки.

С 1997 г. в точке либрации постоянно находятся два космических аппарата: европейский спутник SOHO, изучающий Солнце дистанционно и передающий его изображения в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах, и американский спутник ACE, наблюдающий солнечный ветер и межпланетное магнитное поле.



А.Копик. «Новости космонавтики»

С 15 по 29 января в Чили проходила первая чилийская международная летняя школа по астрономии и космонавтике Astrospase-2005. Цель мероприятия – привлечь интерес учащихся разных стран к естественным наукам. В программе приняли участие около 100 ребят из Чили и других государств Южной Америки, а также много российских школьников.

Организаторами и спонсорами Astrospase выступили Университет Сантьяго-де-Чили, Католический чилийский университет, Чилийский университет Федерико Санта Марии и другие организации. Проезд и участие в программе российских школьников и преподавателей профинансировала компания «Кузбассразрезуголь».

Школа расположилась в местечке Ривадавия в долине Эльке, что примерно в 500 км на север от Сантьяго. Место было выбрано неслучайно: в этом регионе находятся крупнейшие в мире астрономические центры и обсерватории. Это одно из лучших мест на Земле для проведения астрона-

– *Есть ли проекты отечественных КА службы космической погоды?*

– В ИКИ сегодня ведется проработка нескольких проектов, связанных с этой тематикой. Мы видим, что система мониторинга и прогноза должна быть многоуровневой. В ионосфере, на низких орбитах, эти задачи могут выполнять микроспутники «Чибис», разрабатываемые сейчас в институте. Во внутренней магнитосфере и радиационных поясах будут работать спутники проекта «Резонанс», готовящиеся к запуску в рамках Федеральной космической программы совместно с НПО им. С.А.Лавочкина. Здесь возможно и использование попутных экспериментов на космических аппаратах прикладного назначения. На «верхнем этаже» системы находится спутник – монитор солнечного ветра, размещаемый в точке либрации. Сегодня ведется проработка такого аппарата – «Интербола-3».

Другой, более амбициозный, проект, который мы назвали «Клиппер», предполагает расположение группировки микроспутников вблизи линии Солнце–Земля на расстоянии 3–4 млн км от Земли в сторону Солнца (в 2 раза дальше, чем точка либрации). Стабилизацию спутников на таком удалении предполагается осуществить

с помощью солнечного паруса большой площади. «Избыточное», по сравнению с точкой либрации, притяжение Солнца будет компенсироваться силой давления солнечного света на парус. Это позволяет «повесить» аппараты еще дальше от Земли, что даст дополнительное время для принятия мер в случае регистрации спутниками прохождения магнитного облака.

– *Что это будут за аппараты? Позволяют ли современные технологии создать такую группировку?*

– Предварительные оценки показывают, что для точки стояния 3 млн км необходимо соотношение между массой КА и площадью паруса примерно 25–30 кг на 1000 м². При современном уровне технологии это технически возможно. На каждом аппарате будут размещены три научных прибора – магнитометр, датчик параметров плазмы, измеряющий скорость, температуру и плотность ионов, а также датчик потока энергичных частиц. Измерения будут проводиться с временным разрешением около 1 сек. Предполагается непрерывная передача всех измеряемых параметров на Землю в реальном времени.

Подготовил А.Копик

Космическая школа в Чили



блюдений: 300 дней в году здесь безоблачное небо и спокойная атмосфера.

Для участия в программе привлекли ученых и специалистов из Чили, Аргентины и России, которые прочитали ребятам лекции и провели семинары по различным направлениям астрономии и космонавтики: астрофизические исследования, пилотируемые полеты в космос, космические аппараты, дистанционное зондирование Земли.

Помимо теоретических занятий, проходили и практические классы, где ребята своими руками конструировали и собирали телескопы, создавали действующий макет спутника, пробовали свои силы в обработке реальных данных дистанционного зондирования. Большой интерес вызвали у ребят рассказы космонавта Александра Баландина о пилотируемых полетах и жизни на орбите, об отборе и подготовке космонавтов.



Участники школы слушают лекции по космонавтике

В рамках программы участники посетили обсерваторию «Тололо» (Tololo), а в одну из ночей для Astrospase были организованы астрономические наблюдения в публичной обсерватории «Мамаюка» (Mamalluka). Эта обсерватория не предназначена для научных исследований. Дело в том, что чилийское правительство, уделяя особое внимание образовательным программам и пропаганде научных исследований, спонсирует частные публичные обсерватории для привлечения общественного интереса к космическим исследованиям и естественным наукам. Каждый желающий в любое время может посетить такой центр, где есть возможность самостоятельно понаблюдать за различными объектами Вселенной с помощью серьезных телескопов.

Для российских школьников участие в программе было полезно вдвойне, так как, помимо насыщенной образовательной части, была и интересная культурная программа, во время которой происходило знакомство со страной.

После окончания Astrospase ее руководитель Марина Степанова отметила, что школа вызвала большой интерес у Министерства образования Чили, Чилийского космического агентства и правительства региона, и выразила надежду, что инициатива проведения астрокосмической школы на регулярной основе будет поддержана и в дальнейшем как чилийскими, так и российскими организациями, так как подобное мероприятие вносит большой вклад в пропаганду космонавтики и укрепление связей между странами.