

О том, что ждать в наступившем году от нашего светила, рассказал руководитель отдела физики космической плазмы Института космических исследований РАН доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН Анатолий ПЕТРУКОВИЧ

Фото: NASA.gov

# Солнце волнуется раз...



— Анатолий Алексеевич, три года назад всё человечество напряжённо ждало конца света по календарю мая. И главным кандидатом на палача нашей цивилизации называлось Солнце. От него ждали какой-то глобальной вспышки, радиационного удара, взрыва.

— Идея об очередном конце света у нас появляется приблизительно каждые три года. Главное, чтобы событие было «назначено» не на завтра, чтобы успеть тему отработать, и не на слишком далеко, чтобы вызвало ажиотаж. Рассуждения о календаре мая были из той же серии. Но с Солнцем трудно придумать что-то новенькое — это чрезвычайно стабильная звезда, жёлтый субкарлик, таких во Вселенной триллионы и пока с подобными звёздами мы ничего исключительного не наблюдали. Они не взрываются, не вспыхивают, это исключительно стабильные природные термоядерные реакторы, работающие по несколько миллиардов лет. Поток солнечного излучения обогревает Землю, создаёт условия для жизни, питает атмосферу, определяет климат. Все наши тайфуны, ураганы — всё это результат деятельности Солнца.

Тепло, которое Солнце излучает, — это поток солнечной энергии, и он замечательно стабилен. Он так и называется — «солнечная постоянная». Последние несколько десятков лет его измеряют очень точно: около орбиты Земли это примерно полтора киловатта на квадратный метр.

### Пятна

— То есть с квадратного метра можно вскипятить чайник?

— Да, но не на Земле, а именно около её орбиты. До поверхности доходит значительно меньше. Цифра эта потому и называется «солнечная постоянная», что изменения её во времени ничтожны — в пределах примерно 0,1%. Этого совершенно недостаточно, чтобы как-то значимым образом изменить температуру на нашей планете. Ждать от Солнца резкого разогрева или тем более взрыва у нас нет оснований. Мы наблюдаем за светилом при помощи астрономических инструментов с XVI века. Галилео Галилей первым посмотрел на него через телескоп и обнаружил на нём пятна.

— Ну да, Чехов относил радость астрономов по поводу открытия на Солнце пятен к случаям беспримерного злорадства.



Фото: Валерий Чумаков

### Анатолий Петрукович наблюдает за Солнцем в реальном времени, не выходя из здания ИКИ

— На самом деле крупные пятна видели и раньше, но это было очень нерегулярно. А с XVII века у нас есть почти полная история наблюдения солнечной поверхности. Первые триста лет наблюдений пятна считались таким «казусом»: все знали, что они есть, но зачем они нужны, почему и откуда берутся — было непонятно. А невооруженным глазом ничего, кроме пятен, на Солнце незаметно. Ещё есть — уже на Земле — полярные сияния, но их с Солнцем раньше не связывали, считали чем-то полумистическим. Только в XIX веке начали сводить сияние и пятна воедино.

### Магнитные бури

— В XVII веке мы научились измерять магнитное поле Земли. Сначала казалось, что оно постоянное. Но в XIX веке выяснилось: магнитное поле иногда «дергается» — так появился термин «магнитная буря», т.е. мелкие нерегулярные ни к чему не привязанные изменения магнитного поля. Оказалось, что полярные сияния в это время усиливаются, могут даже спускаться в средние широты.

В 1859 году произошла самая сильная из известных нам солнечных вспышек. После неё на Земле бушевала огромная магнитная буря, которую сейчас называют «событием Кэррингтона». Эту вспышку, мгновенное уярчение Солнца, впервые заметил английский астроном Ричард Кэррингтон. Он наблюдал за большим пятном и обнаружил, что на несколько минут в нём загорелась

**Поток солнечного излучения обогревает Землю, создаёт условия для жизни, питает атмосферу, определяет климат. Все наши тайфуны, ураганы — всё это результат деятельности Солнца**



белая точка — так называемая вспышка в белом свете. Так видны только самые яркие солнечные вспышки.

— *А остальные как?*

— Никак. Солнечная вспышка, прежде всего — не оптическое явление, поэтому их раньше и не видели. Это явление в рентгеновских лучах, космических лучах, но не в видимом свете. Только самые мощные вспышки видны, причём в виде белых точек на солнечном диске. Длятся несколько минут. Тогда, в середине XIX века, нам вообще повезло, что кто-то именно в эти несколько минут внимательно смотрел на Солнце и засёк эту белую точку. А через 18 часов по Земле прокатилась огромная магнитная буря. Тогда на нашей планете практически отключилась телеграфная связь. Её невозможно было использовать из-за возникших страшных шумов. Вот тогда три звена: пятно, вспышка, магнитная буря — и сложились в единую цепочку. Тогда же человек понял: солнечная активность может влиять на земную технику.

С тех пор появилась наука о космической погоде. Ещё не понятен был механизм действия, но чёткая связь уже просматривалась. Выяснилось, что солнечная активность циклична и цикл длится приблизительно 11 лет. Александр Чижевский сопоставил периодичность появления солнечных пятен и различные социальные процессы («СГ» писал о нём ровно год назад, в № 1–2/2014. — *Авт.*), после чего в 1939 году издал книгу «Земное эхо солнечных бурь», моментально ставшую бестселлером. Сейчас мы видим, что учёный сильно преувеличивал солнечное влияние на судьбы человечества — прямой статисти-

**Полярное сияние — картинка того, что происходит над нами, визуализация всего процесса взаимодействия наших магнитных полей. Посмотрев на него, можно определить, где в магнитосфере что творится**

кой его выводы не подтверждаются. Но это было интересное предположение, сыгравшее свою историческую роль. Оно всех взбудоражило и заставило заниматься исследованием солнечной активности.

— *Но корреляцию, связь с историческими событиями так и не обнаружили?*

— Корреляция выделяет только главный тренд. Дождь идёт — крыша протекает. В случае с историей человечества таких трендов — миллионы, и солнечный из них — едва ли не самый маленький, почти на уровне погрешности. То есть как-то это на нашу жизнь, конечно, влияет, но внешне влияние почти незаметно.

Следующий шаг в понимании процесса наступил в 1957 году, когда был объявлен Международный геофизический год. Тогда начали проводить совместные геофизические исследования атмосферы, океана, северных и южных территорий и космоса. Составили огромную программу и Советский Союз принимал в ней активное участие.

— *До науки ли было в СССР?*

— В 1957 году у нас было больше наблюдательных пунктов и средств, чем сейчас.

Геофизический год был огромным событием. Тогда открылись советские антарктические станции, отправили огромное количество экспедиций, запускали геофизические ракеты, исследовали атмосферу, ближний космос. Фактически — заложили основы современной геофизики. Первые три советских космических аппарата, «Спутник-1», «Спутник-2» и «Спутник-3», официально СССР запустил в соответствии с обязательствами по Международному геофизическому году.

С 1957 по 1960 год были открыты все основные космические компоненты влияния солнечной активности на Землю. Мы их теперь называем «солнечно-земными связями». Полностью изучили верхнюю половину ионосферы (ионизованной части атмосферы). Открыли продолжение ионосферы в открытый космос — плазмосферу, которая тянется приблизительно до 20–30 тыс. км. Были открыты радиационные пояса Земли. Оказалось, у Земли они такие, что спутник в них долго существовать не может — «сгорает» электроника. За приоритет их открытия между СССР и США идёт борьба. Впервые их увидел советский спутник, но американцы первыми сумели их правильно объяснить.

Открыли собственно магнитосферу Земли, выяснили, что заканчивается она в 100 тысячах километров от Земли и имеет магнитный хвост,

## К СВЕДЕНИЮ

### «Событие Кэррингтона»

(также известно под названием «солнечный супершторм»)

С 28 августа по 2 сентября 1859 года на Солнце наблюдались многочисленные крупные пятна. Сразу после полудня 1 сентября британский астроном Ричард Кэррингтон зарегистрировал вспышку в одном из пятен. Мощные полярные сияния наблюдались даже над Карибами. Над Скалистыми горами они были настолько яркими, что золотоискатели начали готовить завтрак, думая, что наступило утро. Считается, что магнитные бури такой мощности происходят приблизительно раз в 500 лет.



вытянувшийся от Солнца. Наконец, советская станция «Луна-1», первой вылетевшая за пределы магнитосферы, «поймала» солнечный ветер. Открыли рентгеновское излучение Солнца. Всё это в течение первых трёх лет!

Сегодня мы знаем, что такое «солнечное пятно»: накопленная избыточная магнитная энергия, магнитная аномалия. В аномалии магнитное поле усиливается, а поток энергии снизу затрудняется, оттого это место менее яркое и выглядит на поверхности Солнца как тёмное пятно. Эта избыточная магнитная энергия нестабильна, она выделяется взрывным образом. Происходит солнечная вспышка — мгновенный выброс энергии в рентгеновских лучах, длящийся буквально несколько минут. Вместе с этим происходит выброс плазмы, так называемый корональный выброс. Это летящее в сторону от Солнца облако плазмы называют ещё «магнитным облаком».

— *Тот самый «кусочек Солнца», что в своё время упал на голову Незнайке?*

— Нет, такой «кусочек» упасть на Землю не может. Это просто аномально усилившийся солнечный ветер, он срывает с солнечной короны часть плазмы и уносит её в космос, в межпланетное пространство.

— *Получается, магнитное облако, толкаемое солнечным ветром? Как на Земле...*

— Именно. У нас есть три основных составляющих космической погоды: рентгеновское излучение, солнечные космические лучи — потоки

протонов очень высоких энергий — и солнечный ветер с магнитными облаками. Рентгеновское излучение попадает к нам через восемь минут после вспышки. Оно в основном воздействует на ионосферу и производит радиощумы. Знаете поговорку: «Есть обычай на Руси — ночью слушать Би-би-си»? Ночью в СССР слушали не потому, что боялись, а потому, что ночью Солнца нет и помех в ионосфере значительно меньше.

— *А я в детстве думал, что ночью глушилки выключают, энергию экономят.*

— Нет, всё проще. Днём радиопомех больше, а после сильной солнечной вспышки вся коротковолновая связь на дневной стороне вообще невозможна.

— *Сейчас, слава Богу, коротковолновой связью почти никто не пользуется.*

— Но это излучение затрудняет спутниковую связь, даёт сбой в работе GPS, ГЛОНАСС. Точную навигацию в это время вы получить не сможете.

— *То есть летать на самолетах и запускать ракеты со спутниковым наведением не рекомендуется?*

— В таких агрегатах предусмотрены специальные корректирующие системы, это тоже большой пласт науки.

### Космические лучи

— Вслед за рентгеновскими идут солнечные космические лучи. Это в чистом виде космиче-

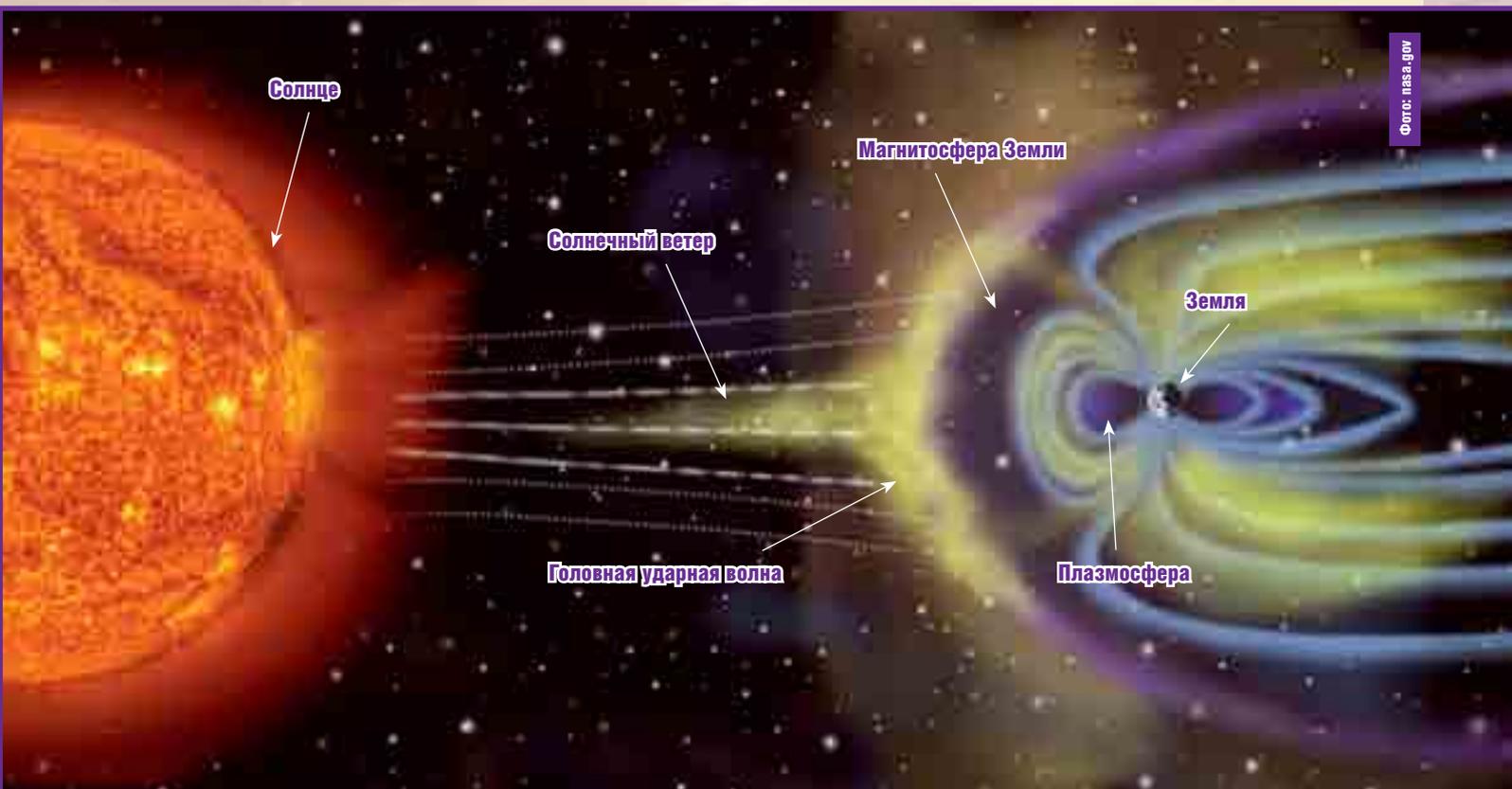


Фото: nasa.gov



ская радиация. До Земли они долетают за несколько часов, угрожая спутникам и космонавтам на орбите. Нас спасает броня магнитного поля. Космонавтов магнитное поле Земли тоже защищает, они не так высоко летают. Орбита МКС – приблизительно 400 км. Однако выход в открытый космос во время солнечных вспышек строжайше запрещён.

– *Но ведь американцы на Луну летали.*

– Эти полеты были непродолжительными, несколько суток. Если бы гуляли по Луне во время сильной солнечной вспышки – получили бы смертельную дозу. NASA повезло, их экспедиции не попали на очень мощную солнечную вспышку 7 августа 1972 года, которая произошла между полетами «Аполлона-16» в апреле и «Аполлона-17» в декабре. Ещё чуть-чуть – и некому было бы возвращаться.

Поэтому и полет к Марсу пока невозможен. За год из-за космической радиации, даже при низкой активности Солнца, космонавт гарантированно получит смертельную дозу. Либо стены корабля надо делать метровой толщины.

– *Значит, транспланетные перелёты для нас только мечта?*

– Да. Здоровым долететь до другой планеты пока нельзя.

### Магнитное облако

– Третья компонента солнечной погоды – магнитное облако. До Земли оно долетает за один – три дня.

– *То есть увидев вспышку на Солнце, мы можем сказать, что через один – три дня грянет буря?*

– Не факт. Проблема в том, что это облако – как снежок: может попасть, а может мимо

**Знак мандалы (буддийской «схемы Вселенной») сам по себе напоминает изображение Солнца. И 21.12.2012 многие искали в нем спасения от грядущего «солнечного удара»**



Фото: globallookpress.com

пролететь. Вероятность – приблизительно 50 на 50. Силу предсказать тоже нельзя: для этого характеристики облака нужно уже на подлете мерить. Решить вопрос можно, поставив спутник между Землей и Солнцем. Такой спутник есть, он стоит в точке либрации, где притяжение Земли уравновешивается притяжением Солнца. Это около полутора миллионов километров от нас. Поэтому полную информацию о том, будет ли у нас магнитная буря и какая, мы получаем приблизительно за час до её начала.

– *До того, как нас накроет магнитное облако?*

– Оно не «накрывает». Магнитное облако ударяет по магнитному полю Земли и получается в некотором смысле магнитотрясение. Это и есть магнитная буря. Мы её видим на Земле как болтанку магнитной стрелки. При этом магнитосфера Земли преобразует полученную от Солнца энергию в другие её виды и выплескивает в ионосферу. Мы опять получаем радиацию, ионосферные шумы, полярное сияние, и всё это во время магнитной бури многократно усиливается.

### Электроток

– Когда магнитное поле Земли начинает искажаться, оно генерирует электрические токи. Во время магнитной бури это эквивалентно появлению дополнительных токов, проходящих через ионосферу. Токи возбуждают электромагнитные колебания очень низких частот у поверхности Земли. Железные дороги, трубопроводы, линии электропередачи – идеальные «антенны» для таких электромагнитных волн.

– *В линии электропередачи возникает дополнительное электричество, подстанция не выдерживает и происходит страшный блэкаут, более известный как «веерные отключения».*

– Самый крупный блэкаут по вине магнитной бури произошёл в Америке в 1989 году. Тогда без электричества остались несколько миллионов человек на Восточном побережье, в Северной Канаде и на северо-востоке США. Сработал эффект домино: в одном месте сгорела трансформаторная подстанция, нагрузка на прилегающих подстанциях выросла, они этого не выдержали и всё посыпалось. С тех пор американцы подстраховались: у них выполнена огромная программа по исправлению узких мест в сети, позже подобного не случалось.

– *И не может теперь случиться?*

– Всё может случиться, но старые слабые места они укрепили. Сегодня основные задачи изучения и контроля космической погоды – защита спутников, радиосвязи, включая системы ГЛОНАСС- и GPS-навигации, и распределён-



ных систем длинных проводников: трубопроводов, железных дорог, ЛЭП. Наиболее сильное влияние на них происходит в экваториальной и полярных зонах.

Полярное сияние — картинка того, что происходит над нами, визуализация всего процесса взаимодействия наших магнитных полей. Посмотрев на него, можно определить, где в магнитосфере что творится. Это современная тема, у нас по всему Северу стоят станции ионосферного зондирования для радиосвязи и их магнитные вариации. Меньше, к сожалению, чем в Геофизический год, но сейчас всё начало восстанавливаться.

Запрос на такие работы в России есть, потому что у нас спутники летают, и трубопроводов с железными дорогами немало, и Арктика наполовину наша. Только финансировать исследования и работы никто не хочет. Когда мы говорим о помехах, нам в компаниях и корпорациях отвечают: «Да ну вас с вашими магнитными бурями, нам главное, чтобы наш электрик трезвый вышел на работу».

### О прогнозах

— *Но есть же государственная космическая программа.*

— Конкретно за контроль космической погоды, как и везде в мире, в стране отвечает Росгидромет. Сейчас у них есть пара спутников, на которых установлены далеко не самые современные приборы по мониторингу космических излучений. Есть планы по запуску ещё нескольких ионосферных спутников и солнечного спутника «Интергелиозонд» в 2020 году. Он подлетит ближе к Солнцу, чтобы разобраться, как именно выделяется в пятнах энергия. Но всё это малая доля от того, что есть у зарубежных коллег.

— *Наука — тема интернациональная. Мы можем пользоваться чужими спутниками?*

— И пользуемся. Главный космический аппарат, специализирующийся на Солнце, — американский SDO — Solar Dynamics Observatory, «Обсерватория солнечной динамики». Это самый информативный научный спутник в мире, он выдаёт терабайт изображений в день. По 10 картинок в разных диапазонах раз в 10 секунд. Всё это выставляется на общих основаниях в Интернет в реальном времени и доступно всем желающим.

Вообще спутников, меряющих космическую погоду, несколько десятков. Десять-пятнадцать из них передают информацию в реальном времени, остальные — с небольшим опозданием.

## К СВЕДЕНИЮ

В 1972 году американцы впервые, сами того не зная, сфотографировали полярное сияние из космоса. Была сильная магнитная буря, и они сняли пояс неизвестно чего размером с Европу, светящегося над Сибирью. Военные подумали, что это секретное советское оружие. Был большой шум в узких кругах.

— *Спутников, занимающихся солнечными проблемами, у нас два. А институтов сколько?*

— Много: Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн в Троицке, Институт солнечной и земной физики в Иркутске, Полярный геофизический институт в Апатитах, наш московский Институт космических исследований, есть институты в Якутске, в Петропавловске-Камчатском. Мы изучаем причинно-следственные связи, физику процесса, какие физические законы работают, как это можно вычислить. Если можно вычислить — значит, можно спрогнозировать. У Института космических исследований есть сайт [spaceweather.ru](http://spaceweather.ru), на котором в реальном времени крутится прогноз магнитных бурь по солнечному ветру. Мы берём американские данные и по своим алгоритмам делаем прогноз магнитной бури.

— *На какое время?*

— Опережение по солнечному ветру — на час. Но, с учетом известной инерционности всей системы, можно достаточно точно предсказать часов за пять.

— *Разве нет долгосрочных прогнозов?*

— Всё упирается в точность. Мы не можем предсказать погоду больше чем на три дня вперёд, не можем предсказать солнечный цикл больше чем на полцикла вперёд. Когда солнечный максимум начнётся — мы можем предсказать, а на что он выйдет — только приблизительно. В предыдущий солнечный максимум в 2001 году говорили, что он будет самым высоким.

— *Отсюда и мой первый вопрос о конце света в 2012-м.*

— В результате максимум был большой, но далеко не «самый» — пятый или шестой по величине из всех нам известных, меньше двух предыдущих. И ничего катастрофического не случилось. Потом стали говорить, что следующий цикл будет самым маленьким. Он действительно оказался маленьким, но не «самый». Есть

**Самый крупный блэкаут по вине магнитной бури произошёл в Америке в 1989 году. Тогда без электричества остались несколько миллионов человек на Восточном побережье, в Северной Канаде и на северо-востоке США**



такой научный термин «пределы предсказуемости». Они и не позволяют нам сказать, каков будет следующий солнечный цикл. Есть ещё идея существования столетнего цикла. Один цикл накладывается на другой, меняя суммарную амплитуду. Последние 200–300 лет каждые сто лет идёт небольшое понижение активности, амплитуды солнечных максимумов. Сейчас мы, скорее всего, живём в такую эпоху понижения. Возьму на себя риск предположить, что следующий цикл будет тоже вялый. Это в чём-то хорошо, в чём-то плохо: сильные магнитные бури выметают галактические космические лучи из окрестностей Земли. Так что солнечное магнитное поле для нас — дополнительный защитный экран.

### Глобальное потепление

— *Вспышка, подобная «событию Кэррингтона», чем может нам грозить?*

— Будут проблемы с радиосвязью, с горизонтной радиолокацией в военных целях. Скорее всего, с сотовой связью всё будет в порядке, а вот связь со спутниками пострадает сильно. Перегорит ли где-нибудь линия электропередач? Как повезёт. Больше всего в таких случаях страдают спутники. Неприятностей будет много, но, скорее всего, локальных.

— *На здоровье людей это как скажется?*

— Нам неизвестен механизм воздействия магнитной бури на здоровье. Нет точных данных о том, что магнитная буря, скажем, провоцирует сердечные приступы.

— *Я на себе чувствую. Дико голова болит, а потом выясняется, что была сильная магнитная буря.*

— А бывает, что голова не болит, а буря была?

— *Бывает.*

— Или наоборот: голова болит, а бури нет. Влияние есть, но не однозначное и с неизвестным механизмом действия. Общей точки зрения нет. У нас в Институте космических исследований этим активно занимаются — и себя мониторят годами, и других. На здоровых людей бури влияют разнонаправленно: у кого-то в одну сторону показатели идут, у кого-то в другую. Как реакция при метеозависимости: у одних голова болит, у других — суставы ломит, третьих в сон клонит.

— *И что делать?*

— Ну, таблетки «от магнитной бури» нет и, скорее всего, не будет. Рецепт простой: надо следить за здоровьем, не подвергаться лишним нагрузкам, если чувствуешь, что что-то пошло не так.

— *Главная катастрофическая тема последних десятилетий —*

**На здоровых людей бури влияют разнонаправленно: у кого-то в одну сторону показатели идут, у кого-то в другую. У одних голова болит, у других — суставы ломит, третьих в сон клонит**

## К СВЕДЕНИЮ

### Как учёные в XIX веке представляли работу Солнца

«Мы должны предположить, что в горении участвует вся солнечная масса, но сам процесс совершается лишь в верхних слоях звезды, поскольку только там газы охлаждаются настолько, что могут вступать в химические реакции. Происходят они с образованием пламени и высокой температуры по всей поверхности Солнца. В средних широтах Солнца они иногда принимают вид колоссальных спускающихся вихрей, которые темнее всей остальной поверхности Солнца. Благодаря отсутствию пламени они видятся нам тёмными солнечными пятнами. Конечно, против этой теории горения можно возразить, что спектральный анализ показывает наличие кислорода лишь в районах солнечных пятен, но весьма велика вероятность, что состав Солнца подобен составу Земли, а в таком случае недостатка в кислороде там быть не может».

Вернер фон Сименс, 1892

*глобальное потепление. Сначала винили во всём человека, сейчас модно кивать на повышение солнечной активности.*

— Ну да, была теория, что космическая радиация активизирует возникновение облаков и облака создают парниковый эффект. Даже нашли какую-то статистику, но следующие десять лет эту статистику не подтвердили. Просто в 1990-х совпали два тренда: на рост солнечной активности и на сильное потепление, и многие их сразу связали. А тренды дальше взяли и разошлись. Есть очень длинные периодические процессы, не связанные с Солнцем. Большую роль играет накопление в океане тепла. Потепление есть, но амплитуду его не так просто определить. Используют данные станций, находящихся рядом с городами, а в городах всегда на 2–3 градуса теплее. Есть огромные территории над океанами, на которых достаточно сложно измерить температуру. Поэтому, думаю, Солнышко в этом не виновато.

— *Совсем?*

— Не совсем. Мы уже живём в парниковом эффекте. Сейчас средняя температура на Земле — 15 градусов. А равновесная температура на орбите Земли — около минус 20. Если бы парникового эффекта не было, у нас круглый год был бы снежок. Так что Земля Солнцем уже подогрета.

IGI

Беседовал Валерий ЧУМАКОВ

