Есть ли связь между Солнцем и земным климатом?

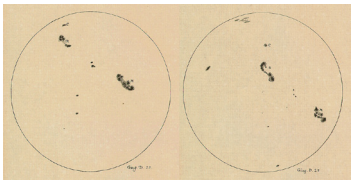
Автор: Hayanon
Перевод: Рената Лукьянова

Столетия научных поисков

Галилео Галилей (1564-1642)

Когда я направил свой телескоп* на Солнце, увидел… темные пятна. Это было в 1610 году. Пятна двигались синхронно, но имели нерегулярную форму. Определенно они принадлежали Солнцу и перемещались вместе с его веществом. Учение Аристотеля, с которым соглашалась даже католическая церковь, говорило, что небесные объекты «непорочны». И вдруг Солнце, этот самый великолепный из всех небесных объектов, оказалось «испорченным».

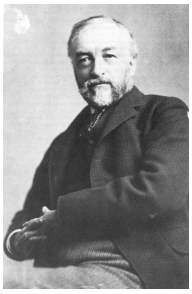
Это было за сотни лет до того, как в 1854 году Швабе показал, что солнечные пятна появляются на поверхности Солнца регулярно с периодом примерно 11 лет.

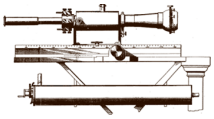


Зарисовка солнечных пятен 23 (слева) и 25 (справа) июня 1613 г.

Сэмюэл Пирпонт Лэнгли (1834-1906)

Солнечные пятна появляются, живут и исчезают циклически. А не связаны ли с Солнцем такие земные вещи, как голод в Индии или цены на пшеницу на Лондонской бирже?
Влияет ли изменение солнечных пятен на климат? Самое прямое влияние должно проявляться, если общая энергия, которую излучает Солнце, - так называемая солнечная постоянная, увеличивается и уменьшается в солнечном цикле. Чтобы измерить ее, я изобрел чрезвычайно чувствительный и точный инструмент.
Он измеряет энергию излучения путем сопоставления вызванного излучением изменения электрического сопротивления зачерненной металлической фольги с количеством поглощенного излучения.



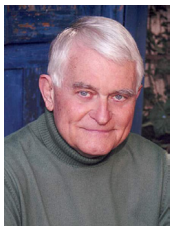


Калориметр Лэнгли для измерения солнечной постоянной

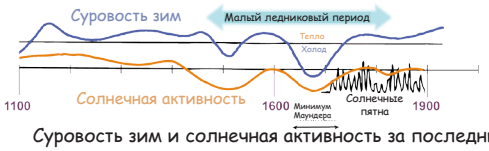
Я использовал этот прибор, чтобы определить количество тепла, которое поступает к Земле от Солнца. Поскольку мы все – дети Солнца, то я убежден, что познать, как все земное зависит от его правил, - достойная задача.

Прошло еще 100 лет, прежде чем приборы, основанные на идее Лэнгли, были запущены в космос. В космосе, где нет влияния помех, создаваемых атмосферой, эти приборы начали измерять истинные вариации солнечной постоянной.

Джон Эдди (1931-2009)



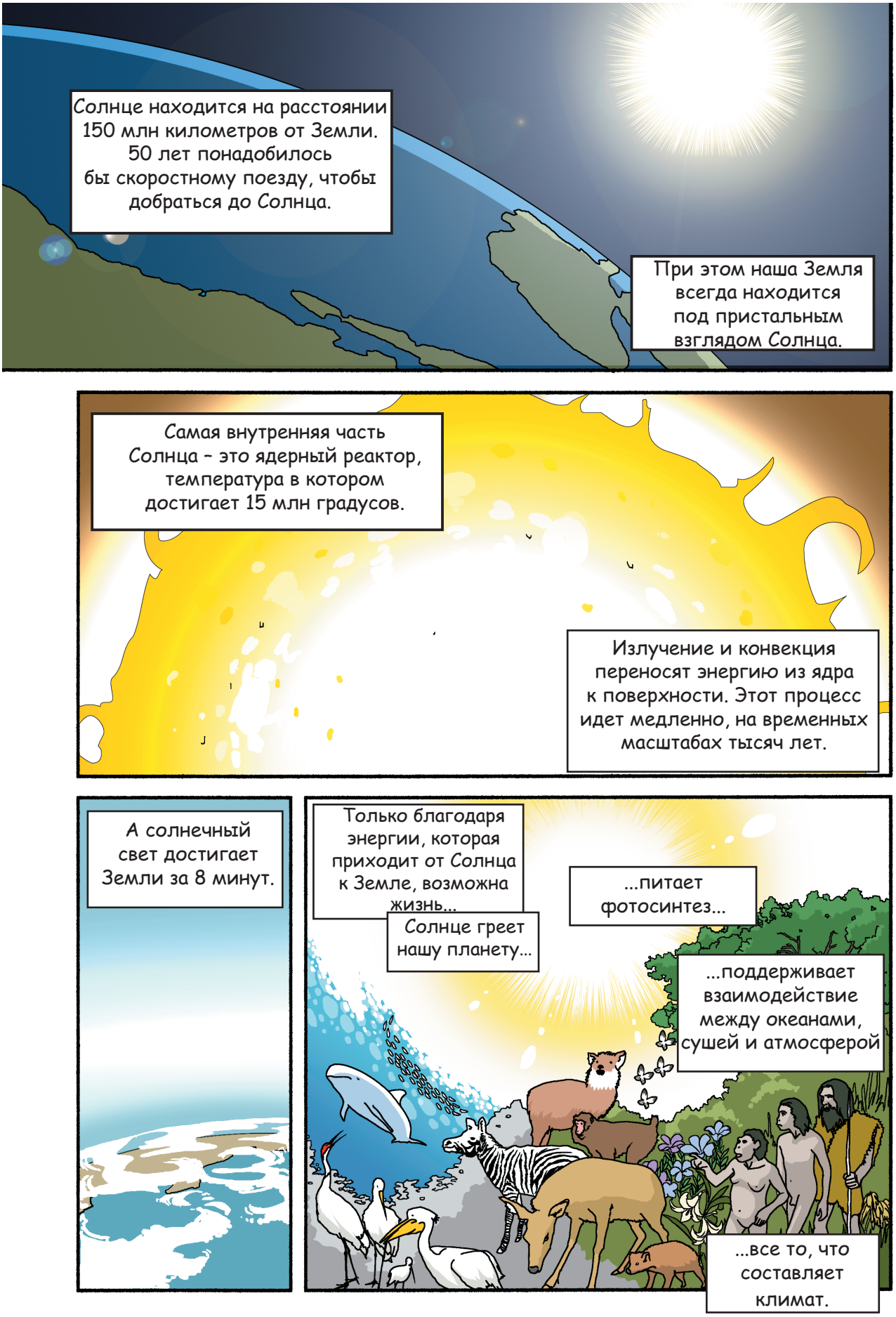
Меня учили, что Солнце изменяется с постоянным периодом. Но я начал исследовать исторические записи о полярных сияниях, солнечных пятнах, замеченных невооруженным глазом, зарисовки затмений внешней атмосферы Солнца и содержание углерода в древесных кольцах. В XVI–XVII веках наблюдатели не видели почти никакой солнечной активности. Я посмотрел картины, написанные в XVII веке. И все более и более убеждался в том, что, вероятно, была долговременная связь между вариациями солнечной активности и климатическими аномалиями, такими как суровые зимы в Лондоне и Париже. Сначала я не очень верил в этот результат. Но оригинальные рисунки Солнца, которые я встречал в редких книгах, были настолько точными, что убедили меня в том, что историческим отчетам можно доверять.

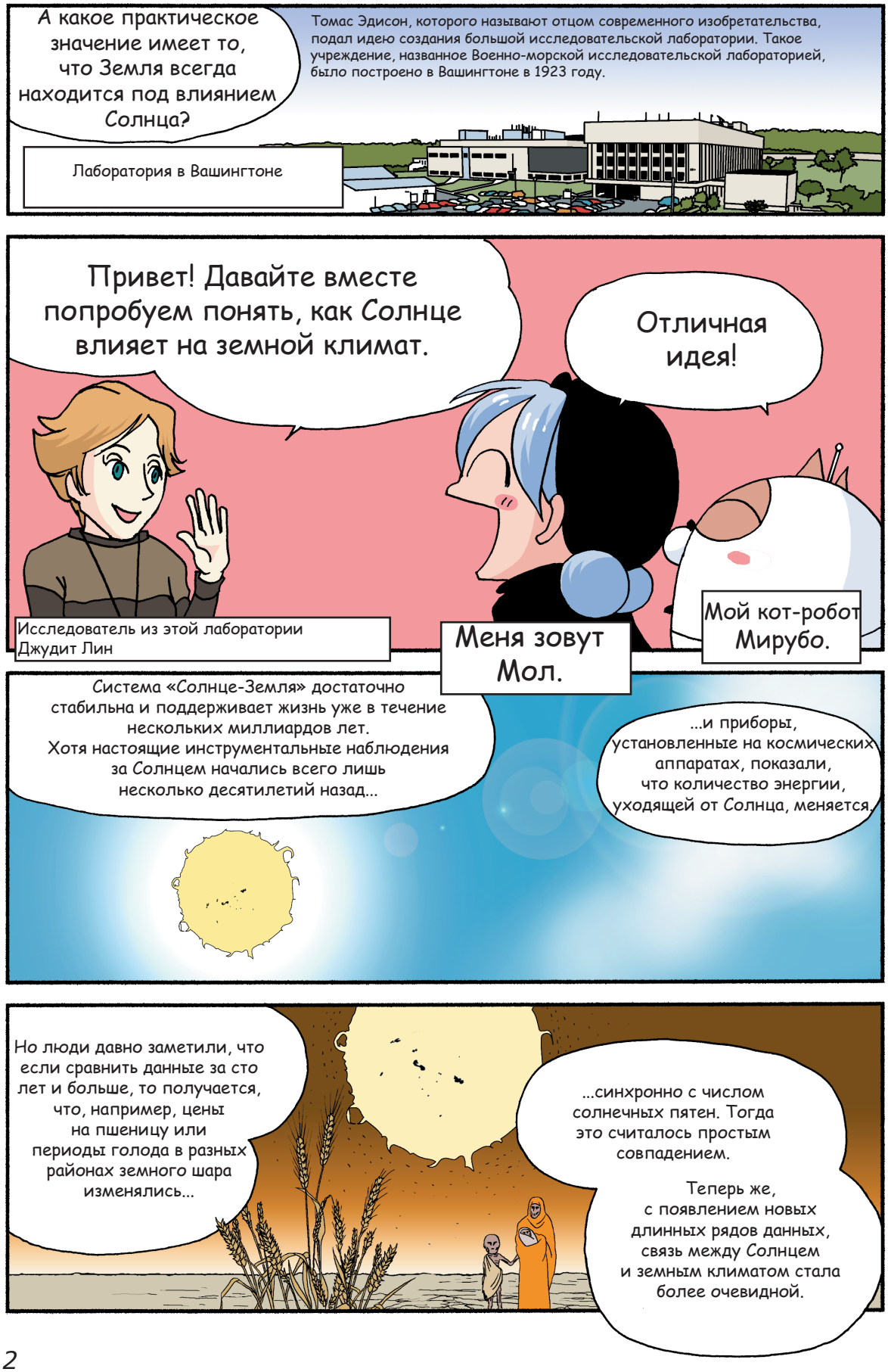


Суровость зим и солнечная активность за последние 1000 лет

Прошли еще десятилетия, когда наконец ученые, сначала с сомнением, начали рассматривать вариации солнечной активности как заслуживающую доверия причину изменений климата. Это произошло только после того, как были собраны многолетние базы данных как о Солнце, так и о земном климате, были описаны и получили объяснение вариации яркости Солнца, установлены связи между ними и температурой земной поверхности и земной атмосферы.

* Смотреть на Солнце в оптические приборы можно только через специальные светофильтры, иначе можно серьёзно повредить глаза!


Солнце находится на расстоянии 150 млн километров от Земли. 50 лет понадобилось бы скоростному поезду, чтобы добраться до Солнца.
При этом наша Земля всегда находится под пристальным взглядом Солнца.
Самая внутренняя часть Солнца – это ядерный реактор, температура в котором достигает 15 млн градусов.
Излучение и конвекция переносят энергию из ядра к поверхности. Этот процесс идет медленно, на временных масштабах тысяч лет.
А солнечный свет достигает Земли за 8 минут.
Только благодаря энергии, которая приходит от Солнца к Земле, возможна жизнь...
Солнце греет нашу планету...
...питает фотосинтез...
...поддерживает взаимодействие между океанами, сушей и атмосферой
...все то, что составляет климат.


А какое практическое значение имеет то, что Земля всегда находится под влиянием Солнца?
Томас Эдисон, которого называют отцом современного изобретательства, подал идею создания большой исследовательской лаборатории. Такое учреждение, названное Военно-морской исследовательской лабораторией, было построено в Вашингтоне в 1923 году.
Лаборатория в Вашингтоне
Привет! Давайте вместе попробуем понять, как Солнце влияет на земной климат.
Отличная идея!
Исследователь из этой лаборатории Джудит Лин
Меня зовут Мол.
Мой кот-робот Мирубо.
Система «Солнце-Земля» достаточно стабильна и поддерживает жизнь уже в течение нескольких миллиардов лет. Хотя настоящие инструментальные наблюдения за Солнцем начались всего лишь несколько десятилетий назад...
...и приборы, установленные на космических аппаратах, показали, что количество энергии, уходящей от Солнца, меняется.
Но люди давно заметили, что если сравнить данные за сто лет и больше, то получается, что, например, цены на пшеницу или периоды голода в разных районах земного шара изменялись...
...синхронно с числом солнечных пятен. Тогда это считалось простым совпадением.
Теперь же, с появлением новых длинных рядов данных, связь между Солнцем и земным климатом стала более очевидной.

Пойдемте-ка прогуляемся, что-то становится жарко. Это тепло, приходящее от Солнца.
Температура земной поверхности примерно такая же, как у нас дома.
Это почему так?
А ты чего-то другого ожидала? Это, считай, чудо природы.
Температура поверхности Солнца – 6000 градусов!
А температура земной поверхности - это баланс между излучением, приходящим к Земле от Солнца, и излучением, уходящим от Земли в космическое пространство.
Примерно треть энергии, приходящей от Солнца, отражается обратно в космос, а также поглощается верхней атмосферой Земли.
Оставшиеся две трети нагревают нижнюю атмосферу и поверхность Земли.
Спасибо тебе, солнечное тепло!
Ой-ой, а Земля не станет все теплее и теплее, раз она постоянно получает тепло от Солнца?
Не беспокойся, не станет. Земля сама отдает тепло, только оно невидимое. Это - инфракрасное излучение.
Но эта уходящая радиация не сделает Землю и слишком холодной, так как она частично поглощается газами атмосферного воздуха.
Это и есть парниковый эффект. Газы ловят часть уходящего тепла, поддерживая среднюю глобальную температуру на уровне +15°С! Мы находимся внутри гигантского термоса, создающего комфортные для жизни условия.
Если бы парникового эффекта не было, то температура земной поверхности была бы -18°С.
Холодища-а!

Давайте разберемся, как солнечная энергия влияет на Землю.

Некоторые виды солнечного света невидимы для человеческого глаза. Думаю, вы слышали об ультрафиолетовом (УФ) и инфракрасном (ИК) излучении?

Да.

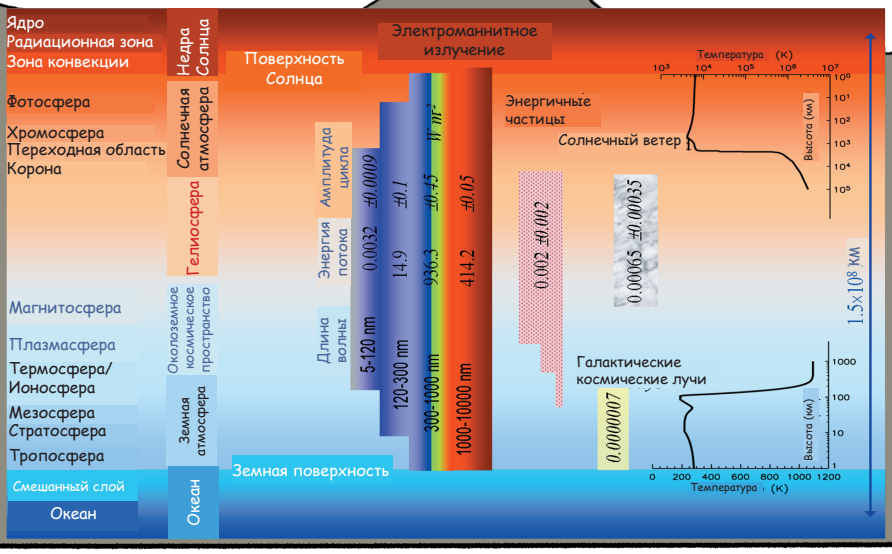
УФ, я думаю... это что-то такое, что...

можно съесть?

Среди других видов солнечного излучения УФ – наиболее важный для нагрева атмосферы Земли. УФ излучается самыми верхними слоями солнечной короны, и он изменяется в гораздо более широких пределах, чем видимый свет. На Земле УФ поглощается в самых верхних слоях атмосферы, и вызывает там самые большие изменения.

Так что излучение внешней атмосферы Солнца поглощается во внешней части атмосферы Земли, создавая здесь слой ионизированного газа.

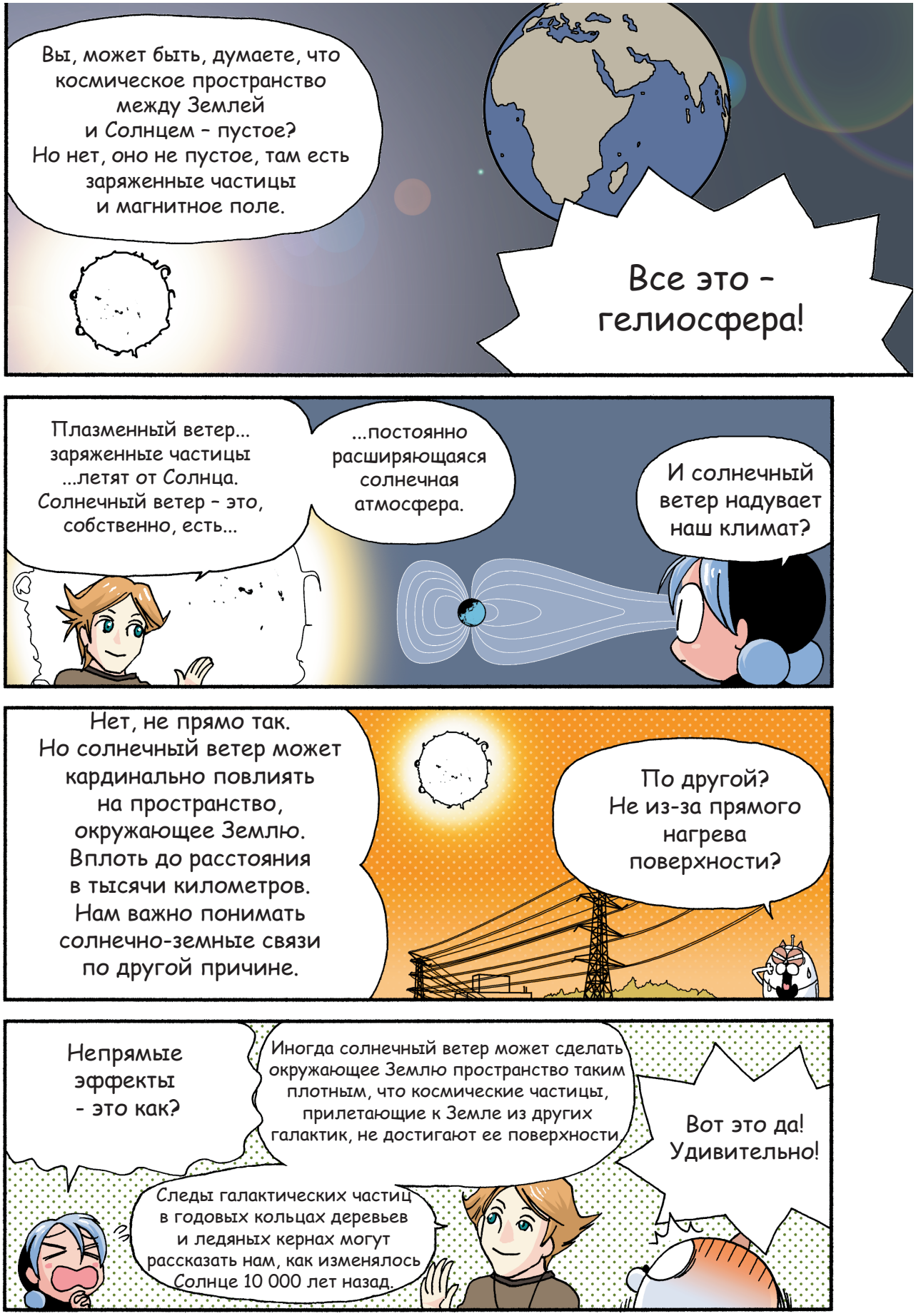
А то излучение, которое рождается в более глубоких слоях Солнца, поглощается в средней атмосфере Земли, создавая озоновый слой.

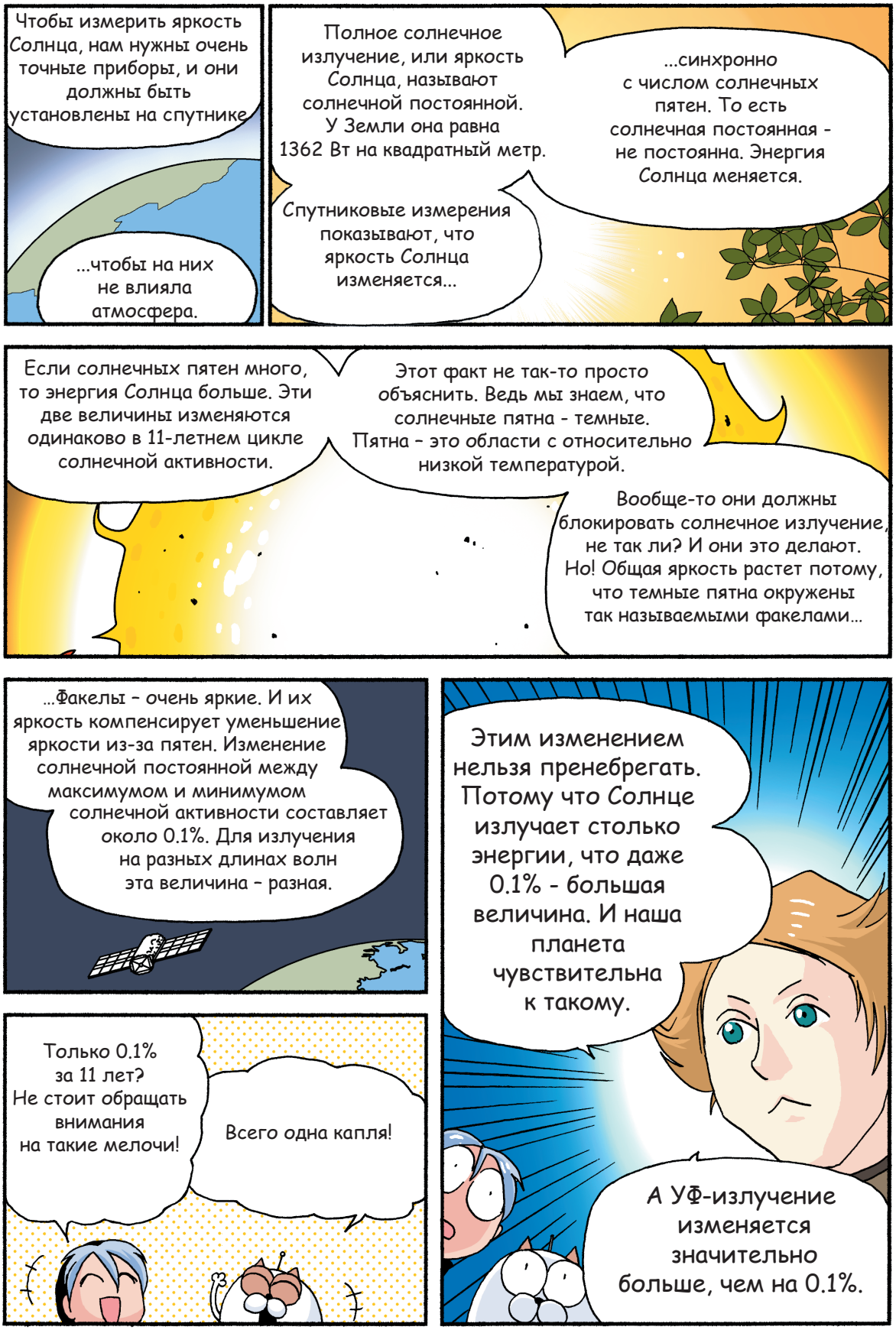


Озон поглощает солнечный УФ, нагревая атмосферу на этих высотах...

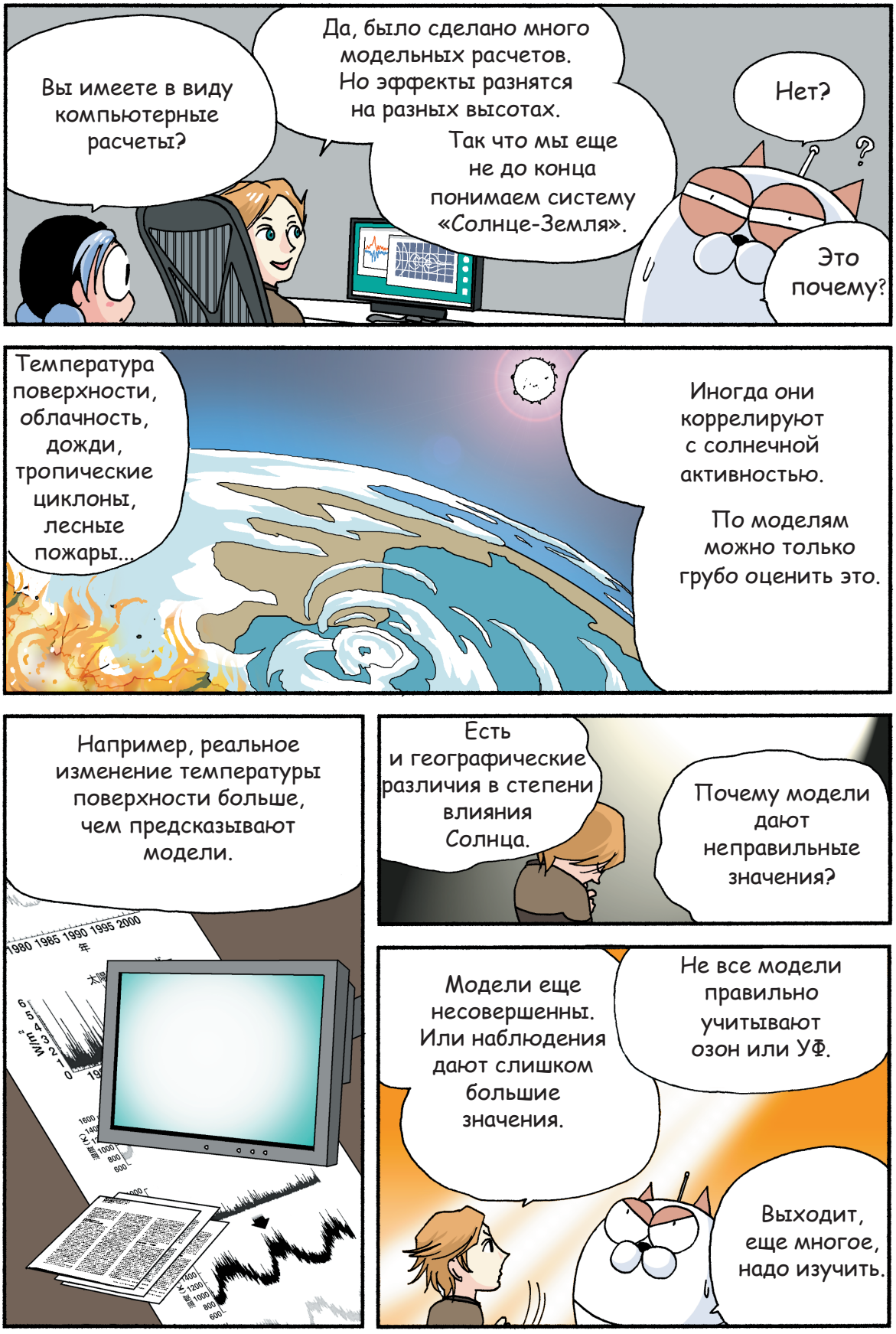
Озоновый слой - теплый, ниже него температура падает с высотой, а выше – начинает расти.

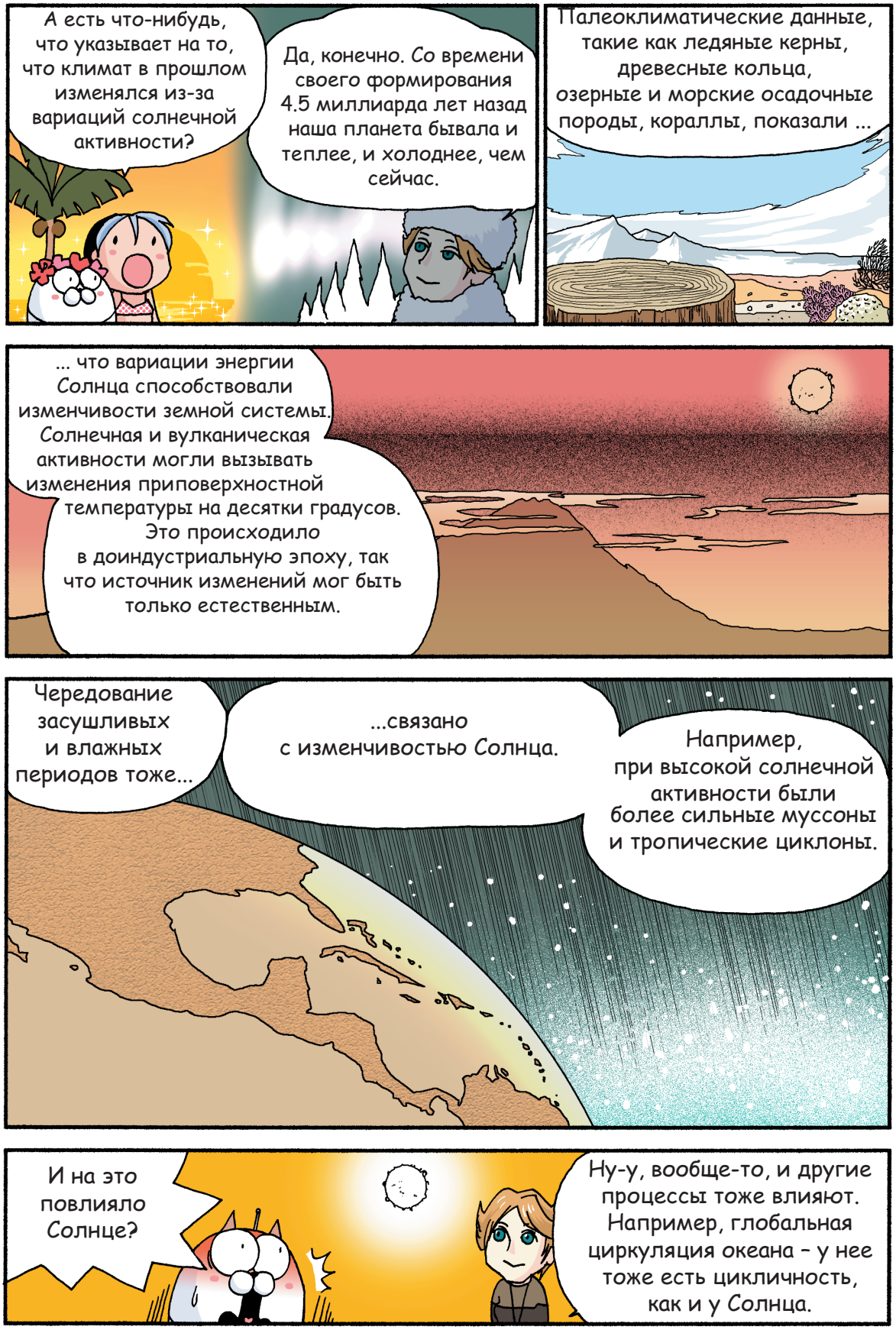
Озоновый слой защищает нас от УФ-радиации, которая может повредить живые клетки растений и животных. И человека тоже.


Вы, может быть, думаете, что космическое пространство между Землей и Солнцем – пустое? Но нет, оно не пустое, там есть заряженные частицы и магнитное поле.
Все это – гелиосфера!
Плазменный ветер... заряженные частицы ...летят от Солнца. Солнечный ветер – это, собственно, есть...
...постоянно расширяющаяся солнечная атмосфера.
И солнечный ветер надувает наш климат?
Нет, не прямо так. Но солнечный ветер может кардинально повлиять на пространство, окружающее Землю. Вплоть до расстояния в тысячи километров. Нам важно понимать солнечно-земные связи по другой причине.
По другой? Не из-за прямого нагрева поверхности?
Непрямые эффекты - это как?
Иногда солнечный ветер может сделать окружающее Землю пространство таким плотным, что космические частицы, прилетающие к Земле из других галактик, не достигают ее поверхности.
Вот это да! Удивительно!
Следы галактических частиц в годовых кольцах деревьев и ледяных кернах могут рассказать нам, как изменялось Солнце 10 000 лет назад.


Чтобы измерить яркость Солнца, нам нужны очень точные приборы, и они должны быть установлены на спутнике
...чтобы на них не влияла атмосфера.
Полное солнечное излучение, или яркость Солнца, называют солнечной постоянной. У Земли она равна 1362 Вт на квадратный метр.
Спутниковые измерения показывают, что яркость Солнца изменяется...
...синхронно с числом солнечных пятен. То есть солнечная постоянная - не постоянна. Энергия Солнца меняется.
Если солнечных пятен много, то энергия Солнца больше. Эти две величины изменяются одинаково в 11-летнем цикле солнечной активности.
Этот факт не так-то просто объяснить. Ведь мы знаем, что солнечные пятна - темные. Пятна – это области с относительно низкой температурой.
Вообще-то они должны блокировать солнечное излучение, не так ли? И они это делают. Но! Общая яркость растет потому, что темные пятна окружены так называемыми факелами...
...Факелы – очень яркие. И их яркость компенсирует уменьшение яркости из-за пятен. Изменение солнечной постоянной между максимумом и минимумом солнечной активности составляет около 0.1%. Для излучения на разных длинах волн эта величина – разная.
Только 0.1% за 11 лет? Не стоит обращать внимания на такие мелочи!
Всего одна капля!
Этим изменением нельзя пренебрегать. Потому что Солнце излучает столько энергии, что даже 0.1% - большая величина. И наша планета чувствительна к такому.
А УФ-излучение изменяется значительно больше, чем на 0.1%.

Возмущения системы «Солнце-Земля» имеют период 11 лет. Когда солнечная активность растет, общая энергия тоже растет, а земной отклик на солнечную активность увеличивается с высотой
Это потому, что мы тогда ближе к Солнцу?
Не все так просто.
Глобальная температура земной поверхности увеличивается на 0.1° в максимуме солнечного цикла.
400km
Термосфера/ Ионосфера
90km
Мезосфера
50km
Озоновый слой
Стратосфера
10km
Тропосфера
А на высоте 50 км, где температура зависит от УФ, она увеличивается на 1°.
Изменение стратосферного озона в солнечном цикле – уже несколько %.
Это сравнимо с изменениями из-за антропогенного фактора и стратосферного ветра на экваторе.
Стратосфера
На высоте 400 км (это высота орбиты космической станции) рост температуры из-за УФ достигает уже 500°.
Так много?!
Какое большое влияние Солнца на Землю!
И исследования продолжаются, чтобы точнее оценить его. Ведь Солнце – это лишь один из многих факторов, влияющих на климат и изменение озона.


Вы имеете в виду компьютерные расчеты?
Да, было сделано много модельных расчетов. Но эффекты разнятся на разных высотах.
Так что мы еще не до конца понимаем систему «Солнце-Земля».
Нет?
Это почему?
Температура поверхности, облачность, дожди, тропические циклоны, лесные пожары...
Иногда они коррелируют с солнечной активностью.
По моделям можно только грубо оценить это.
Например, реальное изменение температуры поверхности больше, чем предсказывают модели.
1980 1985 1990 1995 2000
Есть и географические различия в степени влияния Солнца.
Почему модели дают неправильные значения?
Модели еще несовершенны. Или наблюдения дают слишком большие значения.
Не все модели правильно учитывают озон или УФ.
Выходит, еще многое, надо изучить.


А есть что-нибудь, что указывает на то, что климат в прошлом изменялся из-за вариаций солнечной активности?
Да, конечно. Со времени своего формирования 4.5 миллиарда лет назад наша планета бывала и теплее, и холоднее, чем сейчас.
Палеоклиматические данные, такие как ледяные керны, древесные кольца, озерные и морские осадочные породы, кораллы, показали ...
... что вариации энергии Солнца способствовали изменчивости земной системы. Солнечная и вулканическая активности могли вызывать изменения приповерхностной температуры на десятки градусов. Это происходило в доиндустриальную эпоху, так что источник изменений мог быть только естественным.
Чередование засушливых и влажных периодов тоже...
...связано с изменчивостью Солнца.
Например, при высокой солнечной активности были более сильные муссоны и тропические циклоны.
И на это повлияло Солнце?
Ну-у, вообще-то, и другие процессы тоже влияют. Например, глобальная циркуляция океана – у нее тоже есть цикличность, как и у Солнца.

Кто бы мог подумать, что Солнце так сильно влияет на нашу жизнь!
И не удивительно. Ведь мы обычно почти не обращаем внимание на медленные изменения климата.
Но как нам покажется, когда изменения климата и озона станут угрожающими!
Нет, не надо!
Археологические и палеоклиматические данные говорят о том, что с тех пор, как около 12000 лет назад сформировались самые ранние цивилизации, изменения климата, возможно связанные с Солнцем, могли вызвать или, по крайней мере приводили к росту социальных проблем.
Так, на Юкатане засухи имеют 200-летний цикл, совпадающий по фазе с уменьшением уровней космогенных изотопов, что указывает на периоды более высокой солнечной активности.
Одна из таких засух, когда разразился голод, могла привести к закату цивилизации майя в 800-х годах нашей эры.
Засухи... Закат цивилизаций!
Привычный порядок нашей жизни может нарушиться!
Воды-ы-ы!
Современное глобальное потепление в первую очередь от человеческой деятельности. Но циклическое изменение озона из-за солнечной активности по величине сопоставимо с его антропогенным истощением.

До сих пор мы рассматривали долговременные изменения в системе «Солнце-Земля».
Теперь посмотрим, какие происходят быстрые процессы. Верхняя атмосфера больше всего подвержена воздействию Солнца.
После солнечной вспышки энергичные частицы могут повредить космические аппараты, нанести вред здоровью космонавтов и даже пассажиров летящих через арктическую зону самолетов.
Изменение плотности атмосферы из-за нагрева солнечным излучением может изменить орбиты спутников.
Из-за того что изменяется количество электронов в ионосфере, солнечные вспышки нарушают радиосвязь и навигацию.
Даже в самой земле...
...индуцируются электрические токи. Они мешают передавать электроэнергию по проводам и перегонять углеводороды по нефте- и газопроводам.
Чтобы избежать таких проблем, нам надо лучше понимать природу и принимать меры для защиты.
!
Да, система «Солнце-Земля» – это наш большой дом в космосе.
Мы работаем, чтобы понимать, как он развивается.
Ага!
Теперь Мол и Мирубо знают, что Земля тесно связана с Солнцем.

Солнечно-земные связи - что это?

Когда светит солнце, то всегда теплее, чем без него. Почему тогда связь между Солнцем и климатом такая неоднозначная?

Температурные изменения между днем и ночью, между летом и зимой связаны с вращением Земли вокруг своей оси и движением Земли по орбите вокруг Солнца, из-за чего разные географические области освещены по-разному. Если взять среднее значение по всему земному шару за год, температура остается постоянной. Но если изменяется светимость Солнца, то среднегодовая температура меняется, а с ней и климат.

Светимость Солнца называется солнечной постоянной. А в действительности она меняется?

Да. Светимость, или яркость, Солнца, то есть суммарное излучение на всех длинах волн, изменяется на 0.1% от минимума к максимуму в 11-летнем цикле. УФ-радиация изменяется сильнее, чем ИК и видимый свет. Только очень точные и стабильные солнечные радиометры, установленные на спутниках вне земной атмосферы, способны измерить эти изменения.

Интересно. А как солнечные пятна влияют на яркость Солнца?

Когда Солнце активно в максимуме 11-летнего цикла, на его поверхности много темных пятен. Это снижает яркость Солнца. Но одновременно появляются такие структуры как факелы. Они окружают темные пятна, и они такие яркие, что с лихвой компенсируют потемнение. В результате общая яркость Солнца увеличивается на 0.1%.

Изменение светимости такое маленькое. И оно влияет на климат?

Глобальная температура земной поверхности изменяется при этом на 0.1°. И в одних регионах эта величина больше, а в других - меньше. Это из-за того, что изменяется еще и динамика атмосферы и океана. В прошлом засухи и влажные периоды чередовались синхронно с периодом солнечной активности.

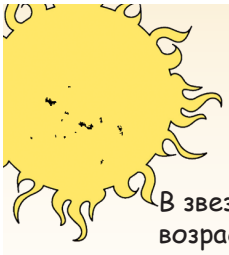
А могут ли изменения Солнца объяснить глобальное потепление последнего столетия?

По оценкам климатологов, если считать с 1750 г., то парниковые газы оказали десятикратно большее влияние на климат, чем изменение светимости Солнца: соответственно 0.65° и 0.1°.

Если активность Солнца сильно снизится, как было в XVII веке во время Маундеровского минимума, может ли похолодание из-за уменьшения светимости Солнца затормозить глобальное потепление?

Уменьшение светимости, которое может произойти, – это десятые доли процента. Уменьшение температуры – тоже десятые доли градуса. А потепление из-за удвоения CO_2 – на порядок больше, примерно 4°. Так что антропогенное потепление значительно больше.

Независимо от того, что влияет на наш климат, будем надеяться, что он не изменится слишком сильно.



Некоторые сведения про Солнце и климат

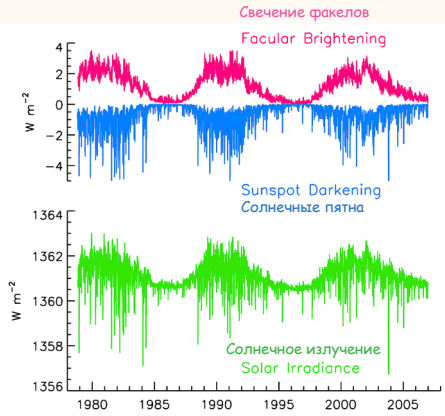
В звездном мире Солнце – звезда среднего возраста. Земля вращается вокруг него на расстоянии около 150 миллионов километров. Ученые давно заинтересовались, как изменения солнечной энергии влияют на Землю. Сейчас появилось еще и глобальное потепление из-за увеличения парниковых газов. Общий эффект потепления надо разделять на естественную и антропогенную части.

Солнце разогревается вследствие термоядерных реакций, происходящих внутри него, и излучает электромагнитную энергию в широком спектре с максимумом на длине волны видимого света. Энергия, которую получает Земля, может поддерживать на ней температуру -18°С. А реальная средняя температура поверхности Земли на 33°С больше. Это из-за того, что парниковые газы в атмосфере задерживают тепловое ИК-излучение, через которое Земля переизлучает часть энергии обратно в космос.

Баланс между приходящей и уходящей радиацией дает равновесную температуру поверхности 15°С. Нарушение радиационного баланса за счет изменения солнечного излучения или концентрации парниковых газов ведет к изменению климата.

Светимость Солнца начали измерять в конце 1970-х гг. с помощью высокоточных радиометров на борту космических аппаратов. И тут выяснилось, что она меняется. Общее увеличение яркости свечения в максимуме 11-летнего цикла связано с появлением очень ярких факелов, окружающих темные солнечные пятна.

Однако временной ряд измерений пока слишком короткий, чтобы можно было говорить о долговременных изменениях яркости.



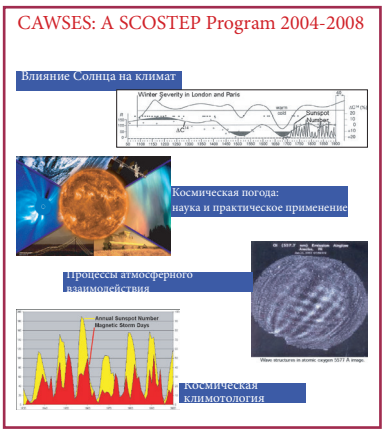
Циклическое изменение солнечного излучения является результатом наложения эффектов темных солнечных пятен и окружающих их ярких факелов

Изменение светимости Солнца – только одна из причин изменения климата. На климат влияют извержения вулканов, океаническое явление Эль-Ниньо, эффекты взаимодействия океана и атмосферы, изменение концентрации аэрозолей и парниковых газов и другие факторы.

Палеоклиматические исследования и климатические модели показывают, что в доиндустриальную эпоху больше всего на климат влияли извержения вулканов и вариации светимости Солнца. Это приводило к изменению температуры на десятые доли градуса. Солнечные эффекты также проявляются в гидрологическом цикле.

Однако климатические модели несовершенны и нуждаются в улучшении, чтобы более точно предсказывать будущие изменения климата.

За последние десятилетия на глобальную температуру земной поверхности оказывали влияние как естественные, так и антропогенные факторы. На рисунке показаны оценки относительного изменения температуры за счет антропогенного тренда и вариаций солнечного излучения



Климат и погода в системе Солнце-Земля (CAWSES)

CAWSES - международная программа, спонсируемая Научным комитетом по солнечно-земной физике (SCOSTEP).
Целью программы является углубленное изучение космической окружающей среды и ее влияния на жизнь и общество.
Среди основных задач CAWSES - содействие координации международных исследований, организации наблюдений, разработки моделей и теоретических подходов, расширение международного сотрудничества ученых, включая развивающиеся страны, создание образовательных программ для студентов всех уровней. Офис CAWSES расположен в Бостонском университете, США.
http://www.bu.edu/cawses/
http://www.scostep.ucar.edu

Лаборатория солнечно-земных связей (STEL), университет Нагоя, Япония

STEL входит в японскую межуниверситетскую систему и работает в тесном взаимодействии с университетами всего мира.
В лаборатории изучаются структура и динамика системы Солнце-Земля. Лаборатория состоит из четырех подразделений: Атмосфера, Ионосфера/Магнитосфера, Гелиосфера и Междисциплинарные исследования. В Лабораторию также входит геокосмический исследовательский центр, который осуществляет координацию комплексных проектов. Экспериментальную базу составляют семь обсерваторий, которые специализируются на измерении широкого спектра физических и химических параметров.
http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp

はやのん Hayanon
Хэянэн - японская писательница и мультипликатор. Закончила физический факультет университета Рюкю. Создала несколько серий научно-популярных комиксов, в которых она сумела соединить физически корректное изложение тем с приемами компьютерных игр. Благодаря особому авторскому стилю, образованию и любви к науке ее работы имели большой успех.
http://www.hayanon.jp

子供の科学 Kodomo no Kagaku (Наука для детей)
Kodomo no Kagaku - японский ежемесячный журнал для детей, выпускаемый агентством Seibundo Shinkosha Publishing Co.,Ltd. С момента своего создания в 1924 г. журнал последовательно развивает научное образование, рассказывая о различных аспектах науки, начиная с их роли в повседневной жизни и кончая последними научными достижениями.
http://www.seibundo.net/

"Есть ли связь между Солнцем и земным климатом?!" опубликовано в кооперации с Kodomo no Kagaku. Мол, Мирубо и Сэнсэй выражают благодарность Каспару Амманну и Арту Ричмонду за помощь в подготовке английской версии их истории.

Оригинал создан Лабораторией солнечно-земных связей университета Нагоя и Научным комитетом по солнечно-земной физике в рамках программы CAWSES.
Перевод на русский язык: Р.Ю. Лукьянова, ИКИ РАН, 2021 г.

Июль 2008

Все права защищены