

МОЛНИЕНОСНАЯ ЖИЗНЬ ЭЛЬФОВ И ГНОМОВ

20 лет назад, в ночь с 5 по 6 июля 1989 года, в истории изучения планеты Земля произошло важное событие. Джон Рандольф Уинклер, отставной профессор, 73-летний ветеран NASA, направил на грозовые облака высокочувствительную видеокамеру, а потом, просматривая запись кадр за кадром, обнаружил две яркие вспышки, которые в отличие от молний шли не вниз, к земле, а вверх, к ионосфере. Так были открыты спрайты — самые крупные из высотных разрядов в атмосфере Земли. Они наглядно подтвердили существование на нашей планете глобальной электрической цепи и дали новые возможности для ее исследования.

Разряды, зарегистрированные Джоном Уинклером, стартовали с высоты 14 километров, а их размеры составляли более 20 километров. Механизм, приводящий к их появлению, был неясен, и требовалась большая научная смелость, чтобы объявить об электрическом разряде, поднимающемся от границ тропосферы на такую высоту. Чтобы получить более убедительные доказательства, воодушевленный Уинклер дождался, когда Миннесоту накрыл ураган «Хьюго» и в ночь с 22 на 23 сентября снова записал на видеокамеру много подобных высотных разрядов над грозовыми облаками. Интересно, что формально он вел это исследование как любитель, поскольку оно не входило ни в какие программы научных работ. Но Уинклер, конечно, не был любителем и действовал решительно, как человек, четко осознающий свою миссию. От прошлой работы в NASA у него осталась неисправная высокоскоростная видеокамера. Он уговорил декана физического факультета Университета Миннесоты выделить на ее ремонт 7000 долларов и установил у себя дома оборудование для анализа записей.

Уникальные кадры гигантских разрядов испугали Уинклера не меньше, чем обрадовали. А что если такой разряд ударит в летательный аппарат? И ученый обратился к коллегам из NASA с предупреждением. Те засомневались. Что за разряды? Но из уважения к прошлому Уинклера взяли посмотреть записи, сделанные во время полетов космических челноков. И они не поверили своим глазам: на пленках обнаружилось больше десятка подобных разрядов. Уинклер попал в точку. Будучи профессионалом, он довел дело до логического конца — публикаций в ведущих научных журналах *Geophysical Research Letters* (1989) и *Science* (1990). Статьи буквально вызвали шок у специалистов по астрономии, атмосферному электричеству, радиофизике, атмосферной акустике, физике газового разряда и аэрокосмической безопасности. После этих публикаций в NASA уже не могли отмахнуться от возможной угрозы космическим кораблям и начали развернутое исследование высотных разрядов. За три

года подготовки к этой работе с Уинклером не раз советовались, но в саму программу так и не включили.

В первую же ночь наблюдений, 7 июля 1993 года, на научной станции вблизи Форт-Коллинса (штат Колорадо) удивленные исследователи зафиксировали больше 240 высотных разрядов. На следующую ночь, чтобы исключить ошибку в определении высоты, была задействована специализированная летающая лаборатория на борту самолета DC-8. Результаты превзошли все ожидания:

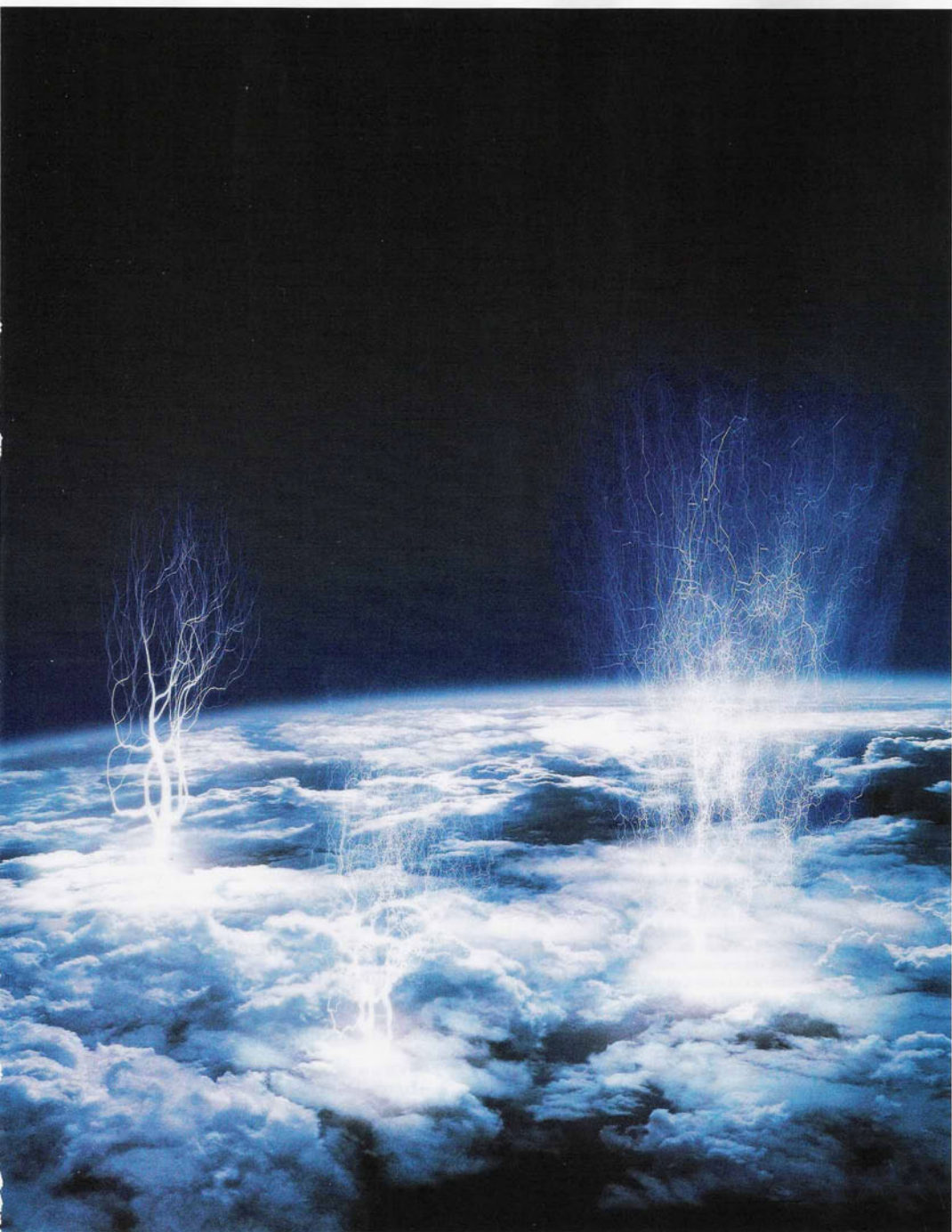
**АЛЕКСАНДР
КОСТИНСКИЙ**
*кандидат физико-
математических наук*

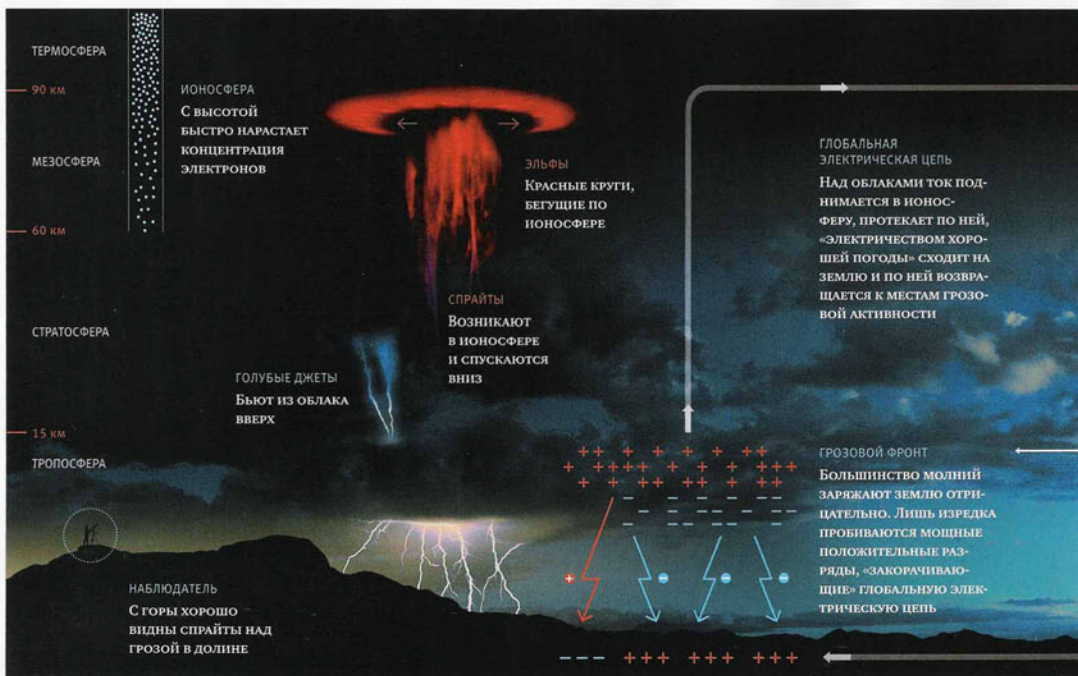
Геофизики почти 100 лет не замечали гигантские высотные разряды. В отсутствие надежных доказательств странные сообщения очевидцев просто игнорировались

огромные вспышки были обнаружены на высотах не менее 50—60 километров. В честь непеседливого Пака из шекспировского «Сна в летнюю ночь» им дали название спрайтов, то есть духов воздуха. Естественно, встал вопрос: почему об этих разрядах ничего не знали раньше, если каждый мощный грозовой фронт порождает их десятками? Анализ литературы показал, что на протяжении сотни лет многие люди видели над облаками необычные и очень большие разряды. Их называли ракетными молниями, облачно-стратосферными разрядами, восходящими молниями и даже молниями «облако — космос». Но в отсутствие надежных доказательств странные сообщения очевидцев просто игнорировались. Отмахнулись даже от такого известного и заслуженного специалиста в области атмосферного электричества, как нобелевский лауреат Чарлз Томсон Вильсон, который еще в 1956 году писал в своей статье о подобном явлении. Понадобились чутье, опыт, упорство и бесстрашие профессора Джона Уинклера, чтобы «этого не может быть» очень быстро превратилось в «да кто же этого не знает». Теперь на многочисленных роликах в Интернете можно в деталях рассмотреть эти разряды.

Джон Уинклер умер в 2001 году. Больше работ по высотным разрядам он не делал, хотя с трудом верится, что не хотел — после такого-то успеха. На его публикацию в *Science* исправно

Голубые джеты — один из самых загадочных видов высотных разрядов. Они срываются с верхней кромки грозовых облаков и поднимаются вверх на 10, 20, а то и 30 километров





ссылались, но в проекты, видимо, не включали. В некрологе, написанном коллегами, сквозит обида за него. А зря. Каждый день Джону Рандольфу Уинклеру салютуют красно-фиолетовые спрайты, ведь он научил людей их видеть.

БЛЕСТЯЩАЯ ТРУППА

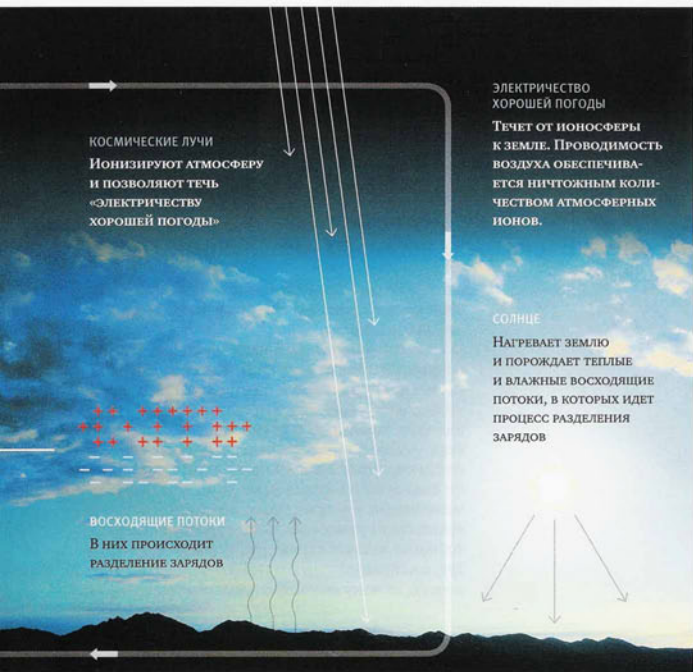
Вскоре исследователи обнаружили целое световое шоу, разворачивающееся в верхних слоях атмосферы над свинцовыми грозовыми фронтами. Главные актеры в нем (в порядке снизу вверх): голубые джеты, которых иногда называют гномами (раз уж они внизу), посередине красно-фиолетовые спрайты и гало, а над ними красноватые кольца — парящие в вышине эльфы. Но, конечно, не надо забывать режиссера, стоящего за грандиозным спектаклем, — это всем известные грозовые облака и молнии. Вообще-то еще недавно труппа была многочисленнее, но исследователи постепенно избавились от духов, медуз (некоторые виды спрайтов) и прочей звуковой «живности». Надо заметить, что упражнения в красивых названиях не просто забавы в стиле «физики шутят», как может показаться на первый взгляд. Как и в шоу-бизнесе, в науке продвижение идей и направлений играет важную роль, ведь и здесь, и там идет борьба за ресурсы. Область науки, которая на слуху у публики, обычно финансируется более щедро. Вспомните хотя бы нанотехнологии, о которых все говорят, но никто толком не может объяснить, что это такое и почему туда нужно направить столько средств. Но вернемся к нашему спектаклю и подробнее представим всех почтеннейшей публике.

Эльфы — самые эфемерные и короткоживущие в семействе высотных разрядов. Эти светящиеся красно-фиолетовые кольца возникают в нижней ионосфере на высотах 80—100 километров. Меньше чем за миллисекунду свечение, возникнув в центре, расширяется до 300—400 километров и угасает. Изучены эльфы не очень подробно, вероятно, потому, что не вызывают особых споров и не сулят серьезного продвижения в понимании природы атмосферных разрядов. Они рождаются через три десятитысячных секунды (300 микросекунд) после сильной молнии, ударившей из грозового облака в землю. Ее ствол становится «передающей антенной», от которой со скоростью света стартует мощная сферическая электромагнитная волна очень низкой частоты.

Спрайты, эльфы, гномы... Эти названия — не просто шутки геофизиков, но и способ привлечь к изучению новых явлений внимание публики, а с ним и финансирование

За 300 микросекунд она как раз добирается до высоты 100 километров, где возбуждает красно-фиолетовое свечение молекул азота. Чем дальше уходит волна, тем шире становится кольцо, пока не угасает с удалением от источника.

Голубые джеты, или гномы, — самые загадочные, редкие и трудные для наблюдения существа в ансамбле новых высотных разрядов. Выглядит гном, как голубой узкий перевернутый конус, стартующий с верхнего края грозового облака и



КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ
Ионизируют атмосферу
и позволяют течь
«ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ
ХОРОШЕЙ ПОГОДЫ»

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
ХОРОШЕЙ ПОГОДЫ

Течет от ионосферы
к земле. Проводимость
воздуха обеспечивается
ничтожным количеством
атмосферных ионов.

СОЛНЦЕ

Нагревает землю
и порождает теплые
и влажные восходящие
потоки, в которых идет
процесс разделения
зарядов

ВОСХОДЯЩИЕ ПОТОКИ
В них происходит
РАЗДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДОВ



Молнии, спрайты и джеты ненадолго визуализируют участки глобальной электрической цепи (верхняя схема). Она связывает ионосферу и поверхность Земли, которые играют роль обкладок гигантского конденсатора (нижняя схема). Грозы его заряжают, а разряжается он медленной утечкой заряда через слегка ионизированный космическими лучами воздух

достигающий иногда 40-километровой высоты. Скорость распространения голубых джетов — от 10 до 100 км/с. Но самое странное, что их появление не всегда связано с видимыми разрядами молний. На высотах, откуда стартуют джеты, давление еще относительно высокое, и неудивительно, что они голубые. Так светят молния, коронный разряд на проводах, искровой разряд и даже пламя высокой температуры. Это тоже свечение молекул азота, но не в краснофиолетовой полосе, как в случае эльфов, а в ультрафиолетово-голубой.

Кроме обычных джетов с верхней кромки облака иногда срываются вверх так называемые голубые стартеры. Они не поднимаются выше 30 километров. Одни ученые полагают, что это просто разряд молнии, направленный вверх, в область, где давление быстро падает, и потому стартеры расширяются гораздо сильнее обычных молний. Другие считают их недоразвитыми джетами.

Но самый интересный тип голубых джетов назвали гигантскими джетами. Стартуя не очень далеко от поверхности Земли, они достигают 90-километровой высоты. Интерес геофизиков к гигантским джетам под стать их размерам, ведь эти разряды совершают «беспосадочный перелет» из тропосферы прямо в ионосферу. Однако наблюдаются они чрезвычайно редко, и надежно их регистрировали не более дюжины раз. При этом живут они доли секунды, что, в принципе, позволяет заметить их простым глазом.

Теория джетов делает лишь первые шаги. Пока неясно даже, на что похоже это явление. Если по ▶

своей природе они близки к светящемуся каналу молнии в стадии развития, то становится понятно, почему рождение джета не связано с молниями: он сам — молния. Но, возможно, более близкой аналогией является разряд внутри грозового облака, который питает энергией канал молнии. В этом случае понять природу джетов будет еще труднее, поскольку теория таких разрядов находится в начальной стадии развития.

Красным спрайтам посвящено наибольшее число наблюдений и публикаций. Это настоящие поп-звезды среди высотных атмосферных разрядов. Иногда кажется, что интерес к ним столь же перегрет, как и к популярным певцам. Чем же они заслужили такое внимание? Дело, вероятно, в том, что их несложно наблюдать (если, конечно, знать о том, что это возможно). Каждые сутки на земном шаре рождаются десятки тысяч спрайтов, и просто удивительно, что их так долго не замечали.

Спрайты — очень яркие объемные вспышки, возникающие на высоте 70—90 километров и спускающиеся вниз на 30—40 километров, а иногда и больше. В верхней части их ширина достигает порой десятков километров. Это самые объемные из высотных разрядов. Как и эльфы, спрайты состоят в прямом родстве с молниями, но не со всеми. Большинство молний бьет из той части облака, которая заряжена отрицательно (она в среднем расположена ближе к

земле). Но 10% молний, достигающих земли, стартуют из области положительного заряда, а так как основная область расположения положительного заряда больше, чем отрицательного, то положительные молнии мощнее. Считается, что именно такие мощные разряды порождают

Словно перезаряжаемые Солнцем батарейки, грозовые облака питают глобальную электрическую цепь, а разряжается она благодаря ионизации воздуха космическими лучами

спрайты, вспыхивающие в мезосфере примерно через сотую долю секунды после разряда класса «облако — земля».

Красно-фиолетовый цвет спрайтов, как и у эльфов, связан с атмосферным азотом. Верхняя часть спрайта светится однородно, а вот ниже 70 километров разряд как будто сплетается из каналов толщиной в сотни метров. Их структура — самая интересная для изучения особенности спрайтов. Каналы называют стримерами по аналогии с хорошо известными разрядами иголочками у острых краев предметов в грозовую погоду и у высоковольтных проводов. Правда, толщина земных стримеров порядка миллиметра, а в спрайтах они в 100 000 раз больше. Пока неясно, почему диаметр стримеров так сильно

Громовержец вне конкуренции?

Среди других планет вспышки молний надежно обнаружены пока только на Юпитере. В 1979 году их впервые зарегистрировала видеокамера межпланетной станции «Вояджер-1». Исследования с «Вояджера-2» и «Галилео» подтвердили эти результаты. По-видимому, эти молнии похожи на межоблачные разряды земного типа. Но обнаружить молнии можно не только по вспышкам. На Земле, например, за грозовой активностью следят по радиоизлучению электрических разрядов. В мощных атмосферах планет-гигантов радиоизлучение распространяется гораздо дальше, чем видимое. Правда, уйти в космос могут только высокочастотные (мегагерцовые) радиоволны, способные преодолеть ионосферу планеты. Первые же добравшиеся до Юпитера аппараты зарегистрировали это характерное излучение, а станция «Кассини», пролетая мимо Юпитера на пути к Сатурну, смогла оценить параметры молний внутри планеты. Похоже, Юпитер не зря назван в честь бога-громовержца, его молнии в тысячи раз превосходят по мощности земные. Электрические разряды на планетах ищут не только ради изучения их физических свойств. Существует влиятельная гипотеза, что многие нужные для возникновения жизни молекулы появились под действием молний. Так что они, наряду с подходящей атмосферой, могли быть предпосылками возникновения жизни. Вот почему интерес к молниям так высок и планетное

электричество ищут все без исключения межпланетные миссии. К сожалению, однозначный ответ пока есть только для Юпитера. Много надежд связывалось с Титаном, крупным спутником Сатурна. Давление там всего полторы атмосферы, а ветры с высокой скоростью гонят



Один из мощных штормов в атмосфере Сатурна. Подобные шторма — источники характерных для молний радиосигналов

метановые тучи с нужным содержанием капель. Но... молнии так и не обнаружили. Спускаемый аппарат «Юйгенс» зарегистрировал радиоизлучение в диапазоне 180—11 000 герц, но эти измерения не приписывают к надежным доказательствам. Возможно, это «шумит» ионосфера Титана. На самом Сатурне молнии пока не видели, но есть все основания считать, что они там полыхают. Сперва «Вояджеры» обнаружили характерные высокочастотные электромагнитные сигналы, потом станция «Кассини» записала во время шести штормов несколько сотен радиосигналов, очень похожих на излучение земных молний. Правда, потом, в 2006 году, наступило длительное затишье. Лишь в ноябре 2007-го на Сатурне вновь начались грозы, сигналы которых надежно фиксировались крупнейшим в мире декаметровым радиотелескопом УТР-2 (Харьков, Украина). По мощности радиоизлучения молнии Сатурна в 10 тысяч раз превосходят земные, но увидеть их ни в видимом, ни в инфракрасном диапазоне не удастся. Вероятно, они вспыхивают очень глубоко внутри Сатурна. На Уране и Нептуне «Вояджер-1» зафиксировал несколько электромагнитных вспышек, подобных радиоизлучениям на Сатурне. Скорее всего, молнии сверкают и там, но тоже в плотной газовой утробе планеты. После «Вояджера» космические аппараты к Урану и Нептуну не приближались. Так что вся надежда на чувствительность новых радиотелескопов.

увеличивается — гораздо быстрее, чем падает с высотой давление воздуха.

Гало — это однородное красновато-фиолетовое свечение на высоте около 80 километров. Причина разряда, видимо, та же, что и у верхней части спрайтов, но в отличие от них гало всегда возникает прямо над вспышкой молнии. Спрайты же позволяют себе вольность находиться где-нибудь сбоку. Существует, видимо, некая связь между спрайтами и гало, но ее механизм пока неясен. Они появляются то вместе, то порознь. Возможно, гало и есть верхняя часть спрайтов, когда напряженности электрического поля не хватило, чтобы разряд распространился в более плотный нижний воздух.

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

И вот пришла очередь главного героя — земного атмосферного электричества. Через все эти спрайты, джеты, гало в ионосферу течет электрический ток. Но куда он девается дальше? Еще со школы мы знаем, что устойчивый ток возможен только в замкнутом контуре. Ионосферу и землю можно считать проводниками. В одном случае проводимость обеспечивают свободные электроны, возникающие под действием жесткого солнечного излучения, в другом ионы соленой воды, пропитывающей землю. При разрядах ток может протекать и по воздуху, но ведь в остальное время воздух — хороший изолятор. Прямо в чистом поле в любую погоду стоят ничем не защищенные высоковольтные линии электропередач напряжением до 500 000 вольт. Провода находятся на расстоянии всего нескольких метров друг от друга, но не стареют от короткого замыкания через воздух. Да, воздух — изолятор, но все же не идеальный. Ничтожное количество свободных зарядов в воздухе есть, и этого достаточно, чтобы замкнуть глобальную электрическую цепь (ГЭЦ). ГЭЦ хорошо известна специалистам, но широкой публике пока малоизвестна. О ней, к сожалению, не говорят на уроках географии, и она не представлена в популярных географических атласах, где прочно обосновались другие глобальные циркуляционные процессы — от магматических до воздушных.

Модель ГЭЦ предложил еще в 1925 году тот самый Чарльз Вильсон, который через 30 лет



STEVEN COMMERCIAL UNIVERSITY (3)

На этих редчайших кадрах зарегистрировано возникновение и угасание гигантского джета, вспыхнувшего в 300 километрах от места наблюдения

просил обратить внимание на высотные разряды над облаками (видимо, на спрайты), а его не послушали. Вильсон рассматривал поверхность Земли и ее ионосферу как две огромные обкладки сферического конденсатора. Разность потенциалов между ними составляет 300—400 киловольт. Под действием этого напряжения к земле по воздуху постоянно течет электрический ток силой около 1000 ампер. Эта цифра может показаться внушительной, но ток распределен по всей поверхности планеты, так что на каждый квадратный километр воды или суши приходится всего пара микроампер, а по мощности вся атмосферная цепь сравнима с одной турбиной крупной гидроэлектростанции. Вот почему совершенно несостоятельна идея (восходящая еще к Николе Тесле) использовать атмосферную разность потенциалов для получения энергии.

Слабость атмосферного тока — прямое следствие низкой проводимости воздуха. Но даже столь небольшой в планетарном масштабе ток разрядил бы глобальный атмосферный конденсатор всего за восемь минут, если бы тот постоянно не подзаряжался. Электродвижущей силой, «пламенным мотором», который заряжает ионосферу положительно, а землю — отрицательно, служат грозы. Внутри грозового облака разность потенциалов гораздо выше, чем между ионосферой и землей. Создается она за счет разделения зарядов в теплых и влажных восходящих потоках, которые возникают в атмосфере над нагретой Солнцем земной поверхностью. По еще не вполне ясным причинам самые мелкие водяные капли и ледяные кристаллики заряжаются положительно, а более крупные — отрицательно. Восходящие потоки легко выносят мелкие положительно заряженные частицы на большую высоту, а крупные, проваливаясь под действием своей тяжести, в основном остаются внизу. Разность потенциалов между заряженными областями внутри электризованных облаков может достигать миллионов вольт, а напряженность поля — 2000 В/см. Слово перезаряжаемое Солнцем батареей, облака питают всю глобальную электрическую цепь. Бьющие из подошвы облака молнии, как правило, несут к земле отрицательный заряд, а сверху положительный стекает ▶

«На Венере, ах, на Венере...»

О молниях на ближайшей к нам планете заговорили после того, как разные космические аппараты зафиксировали характерное радиоизлучение. Дважды на Венере фиксировались оптические вспышки: один раз с борта станции «Венера-9», другой — с наземного телескопа. Однако станция «Касини», снабженная высокочувствительным детектором молний, пролетая мимо Венеры, ничего подобного не зарегистрировала. Вероятно, молнии на Венере бьют не так часто, как на Земле. Ученые, считающие, что молний на Венере нет, ссылаются на низкую плотность капель в ее облаках и отсутствие мощных вертикальных потоков, которые приводят к земным грозам. Но облака несутся вокруг Венеры со страшной скоростью — 100—140 м/с, гонимая ее всего

за четыре земных дня. При таком быстром движении газовых потоков просто обязательно должны возникать завихрения, приводящие к электризации. Кроме того, анализ атмосферы планеты новейшими инфракрасными спектрографами выявил на высотах ниже 60 километров заметные концентрации окислов азота. Их присутствие не объяснить космическими лучами, солнечной радиацией или радиоактивностью — из-за огромной плотности атмосферы ни сверху, ни снизу ионизирующие излучения не могут дойти до облаков. Только электрические разряды могли бы объяснить присутствие окислов азота на этих высотах. Как и на Юпитере, венерианские молнии, если они существуют, бьют между облаками — при огромном

атмосферном давлении до поверхности им не дойти. Весьма вероятно, что на Венере заряженные области невелики и разряды между ними не создают мощных оптических вспышек, как на Юпитере. В любом случае существует если не загадка молний на Венере, то уж точно загадка радиоизлучения, которое было обнаружено несколькими космическими аппаратами. Заметная электрическая деятельность протекает и на Марсе. За электризацию и возможные разряды в атмосфере планеты отвечают, скорее всего, активные пылевые бури, которые и обеспечивают на Марсе высокую концентрацию заряженных частиц. Многие считают, что если уж не жизнь, то электрические разряды на Марсе обязательно найдут.



OSCAR VAN DER VELDE

в ионосферу, поддерживая разность потенциалов в глобальном атмосферном конденсаторе.

Прямо сейчас над планетой гремит 1500 гроз, каждые сутки небо прочерчивают 4 миллиона молний, ежесекундно — 50. Из космоса хорошо видно, как пульсирует сердце глобальной электрической цепи. Но молнии — это лишь самые заметные проявления ГЭЦ. Они подобны искрящему контакту в розетке, который трещит и вспыхивает, тогда как по проводам электричество течет незаметно. Токи, идущие в ионосферу от заряженных облаков (причем даже не

только грозовых, но и от слоистых), сами по себе обычно не порождают зрелищных эффектов, но иногда, под влиянием особенно мощных молний, эта часть ГЭЦ ненадолго визуализируется.

При разряде молнии во все стороны от нее распространяется сильное возмущение электрического поля. В нижних слоях атмосферы, где нет свободных электронов, эта волна не производит никаких эффектов. На высотах более 50 километров немногочисленные имеющиеся в воздухе свободные электроны начинают разгоняться под воздействием импульса электрического поля. ▶

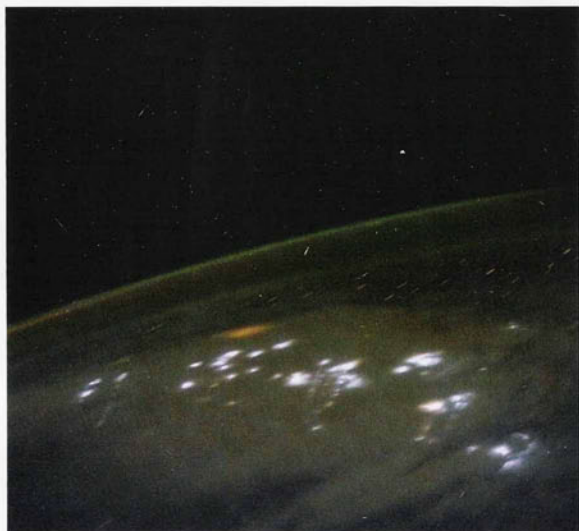
За несколько десятков секунд экспозиции поверх проступающих на сумеречном небе звезд вспыхнуло около десятка спрайтов. Грозовой фронт, над которым они поднимаются, скрыт за горизонтом

Как излучают молекулы

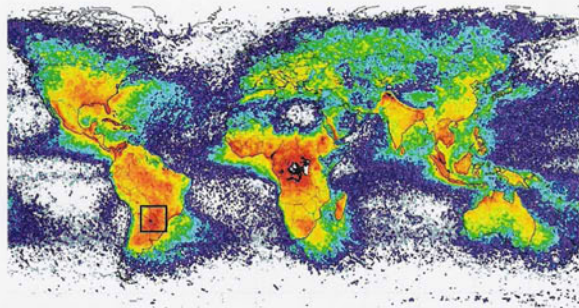
Электроны в атомах как бы разложены по полочкам — энергетическим уровням. Возбуждение атома подобно забрасыванию вещей на верхние полки. Излучение возникает при их сваливании с полки на полку или прямо на пол. Чем больше высота падения, тем энергичнее испускаемый квант излучения. У молекул вдобавок к электронным уровням появляются еще вращательные и колебательные: крутятся и дрожат молекулы тоже могут лишь с определенными значениями энергии. Когда где-нибудь в мезосфере, на высоте 60 километров,

энергичный электрон ударяет молекулу азота N_2 , он может выбить из нее один или несколько электронов и даже разбить ее на два атома азота. Если же энергия удара не так велика, молекула просто перескочит в какое-то электронно-колебательно-вращательное состояние, где некоторое время будет дрожать и вертеться. Но долго ей там не продержаться. Спустя малую долю секунды она либо столкнется с другой молекулой, сбросив на нее часть энергии (это называется тушением возбуждения), либо, если никто не подвернется под горячую

руку, она сама «шлепнется» на полку ниже, испустив при этом квант света. Его-то мы и увидим в излучении разряда. Цвет излучения определяется энергией перехода, которая в первом приближении зависит от того, между какими электронными уровнями случился переход. Наличие колебательно-вращательных уровней размывает узкие спектральные линии в широкие полосы. У молекулы азота их несколько. Одна попадает в видимый диапазон, другая — в ультрафиолетовый, третья — в ближний инфракрасный.



NSA/JSC IMAGE SCIENCE ANALYSIS LABORATORY



NSA/JSC

ЧИСЛО МОЛНИЙ НА КВАДРАТНЫЙ КИЛОМЕТР В ГОД (1995—2003)



Но плотность воздуха все еще слишком велика, и электроны сталкиваются с атомами, не успев набрать заметной скорости. Лишь на высотах около 70 километров длина свободного пробега, а с ней и энергия электронов увеличивается настолько, чтобы при столкновениях возбуждать и даже ионизировать атомы и молекулы, отрывая от них новые электроны. Те, в свою очередь, тоже разгоняются, запуская лавинообразный процесс. Волна ионизации движется к земле, проникая во все более плотные слои атмосферы. Ток с нарастающим числом свободных электронов резко усиливается, возбужденных атомов и молекул становится все больше, и вот мы уже видим свечение высотного разряда. Так молнии в нижних слоях атмосферы на короткое время «высвечивают» (и усиливают) токи в ее верхних слоях.

ПОД ВЛИЯНИЕМ ГАЛАКТИКИ

Если грозы заряжают глобальный конденсатор, то разряжается он в солнечные ясные дни. Тихое

Десятки молний видны с орбиты на границе Аргентины и Парагвая, области Южной Америки, где часто случаются грозы (место отмечено на карте). Однако мировым лидером по числу гроз является Центральная Африка, что хорошо видно на карте грозовой активности. А вот над океанами гроз почти не бывает

«электричество хорошей погоды» несет заряд от ионосферы к земле. Сила тока тем больше, чем выше проводимость среды, по которой он течет. У земной поверхности проводимость воздуха крайне мала: в кубическом сантиметре около нас содержится лишь 1000 ионов — меньше одного на миллион миллиардов нейтральных атомов. Эту ионизацию производят радиоактивные элементы, в частности радон. Но стоит подняться на несколько сотен метров, и проводимость начинает расти в геометрической прогрессии. Причина тому — наша Галактика, Млечный Путь. Вплоть до высот 50—60 километров основная причина ионизации атмосферы — галактические космические лучи. Именно они, выбивая из атомов электроны, позволяют надежно замкнуть ГЭЦ. Выше 50 километров власть в свои руки берет Солнце: основные ионизирующие факторы здесь — вакуумный ультрафиолет и рентгеновское излучение светила. На высоте 80 километров проводимость в 10 миллиардов раз выше, чем в приземном слое.

Атмосферное электричество крайне чувствительно ко многим процессам на Земле. Его можно назвать кардиограммой планеты, которая тонко диагностирует состояние всех слоев атмосферы, как возмущенных, так и спокойных, а знание атмосферы — это знание погоды. Сейчас уверенный метеорологический прогноз дается меньше, чем на неделю, и, вполне возможно, понимание атмосферного электричества позволит увеличить этот срок.

Но атмосферой дело не ограничивается. Проводимость приземного слоя воздуха самая низкая во всей ГЭЦ, и она напрямую зависит от проникновения в воздух радиоактивных элементов. Большой вклад вносят радон и продукты его распада. Профиль электрического поля сразу меняется, стоит только усилиться выделению радона из земной коры. А эти выделения, как уже давно известно, говорят о нарастании сейсмической активности, мощной эрозии и других процессах, часто происходящих на большой глубине. Таким образом, землетрясения и другие глубинные процессы заранее заявляют о своих намерениях. «Дыхание Земли» очень чутко улавливается электрическими полями атмосферы, и анализ атмосферного электричества помогает предсказывать важнейшие тектонические процессы.

Другая, ионосферная, обкладка глобального конденсатора чутко реагирует на состояние солнечно-земных связей. Но еще более удивительно, что ее состояние тесно связано с поверхностью Земли, о чем свидетельствуют так называемые террагенные (то есть порожденные землей) эффекты в ионосфере: в контурах зон полярных сияний узнаваемо повторяются очертания береговых линий, островов, тектонических разломов, магнитных аномалий.

Таким образом, глобальная электрическая цепь самым тесным образом взаимодействует со множеством ключевых для планеты Земля процессов — от молний и спиритов до землетрясений и солнечной активности, и чем лучше мы будем понимать, как работает ГЭЦ, тем качественнее и безопаснее станет наша жизнь. ●

АВТОР ВЫРАЖАЕТ ГЛУБОКУЮ БЛАГОДАРНОСТЬ ЗА ПОМОЩЬ В ПОДГОТОВКЕ СТАТЬИ ЧЛ. КОРП. РАН Е.А. МАРЕЕВУ (Нижний Новгород) и ПРОФЕССОРУ М. ШНЕЙДЕРУ (Принстон, США).