

И снег, и Солнце,

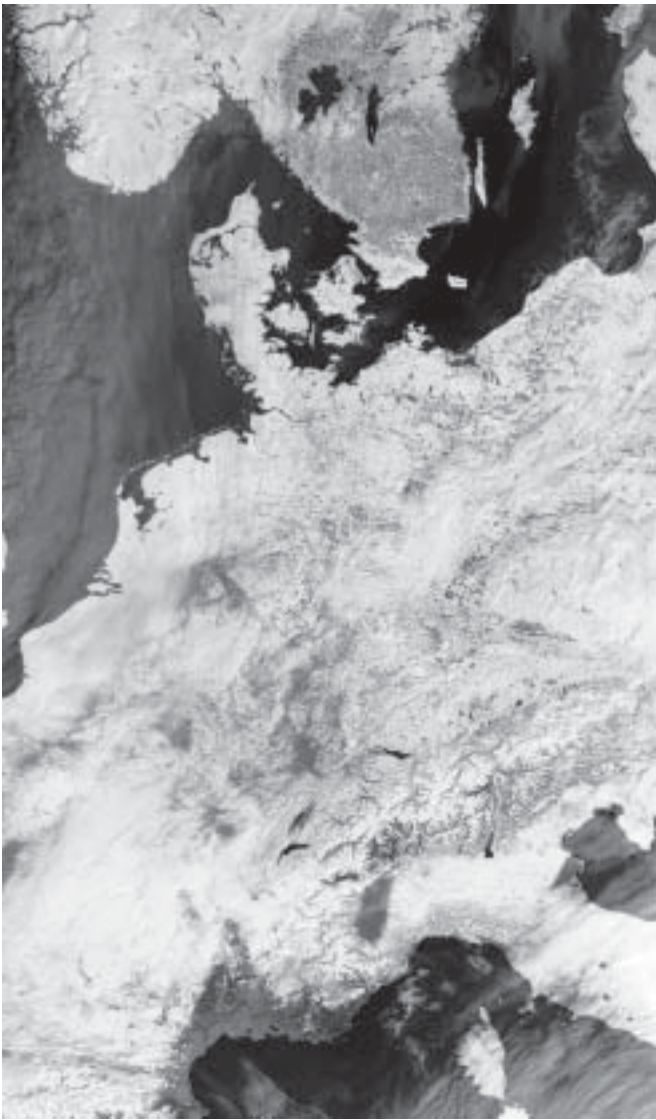
Солнечная активность

Для начала напомним читателям о том, что имеют в виду ученые, когда они говорят о солнечной активности. Наше светило находится от Земли на расстоянии примерно полутора миллионов километров. От него в виде так называемого «солнечного ветра» распространяются солнечное вещество (плазма) и магнитное поле. Измерения, которые проводили со спутников «Маринер-2» и «Вега-2, -3, -4» в 1962–1967 годах на высоте около 300 км над поверхностью Земли, показали, что средняя концентрация частиц (до 95% — это протоны) ветра составляет пять штук на кубический сантиметр. Во время солнечных бурь концентрация частиц и интенсивность магнитного излучения в солнечном ветре резко возрастают. Его скорость тоже непостоянна — она меняется от 250 км/с до 2000 км/с. И хотя масса летящего солнечного вещества весьма мала, при такой скорости воздействие на объекты в космическом пространстве может быть вполне ощутимым. Например, после сильного солнечного возмущения 9–10 ноября 2004 года Международная космическая станция резко изменила свою траекторию, опустившись под давлением ветра почти на 7 км. Исходя из расстояния и солнечной постоянной (количество солнечной радиации, то есть суммарного излучения по всему спектру, поступающего на единицу поверхности, перпендикулярной лучам Солнца, в единицу времени на внешней границе земной атмосферы; для Земли она равна 1,38 кВт/м²), ученые рассчитали полную мощность электромагнитного излучения Солнца. Она составила 3,84·10²⁶ Вт, что эквивалентно ежесекундному взрыву 10¹⁷ тонн тринитротолуола! Вот такова наша звезда, скромный «желтый карлик».

Одно из проявлений солнечных бурь — возникновение пятен на Солнце, которые легко наблюдать с Земли. Это более темные образования относительно небольшого диаметра (диаметр зрелого пятна всего 17–18 тысяч км, то есть около 1% диаметра Солнца). Средняя температура типичного пятна на 1600 К ниже невозмущенной фотосферы.

Еще в начале прошлого столетия Дж.Хейл установил, что центры солнечных пятен выбрасывают в космос огромное количество солнечного вещества и излучают сильнейшее магнитное поле. Магнитный поток через поверхность типичного пятна имеет порядок 10²¹ Мкс.

Чем больше пятно и чем оно темнее, тем выше напряженность магнитного поля в его центре. У больших пятен она достигает 4000 Гаусс. Для сравнения, напряженность невозмущенного магнитного поля Земли лежит в пределах 10⁻⁵–10⁻³ Гаусс. Поэтому количество, размер и температура пятен определяют интенсивность солнечной бури. В середине XIX века швейцарский астроном Р. Вольф в качестве меры солнечной активности ввел следующее выражение: $W=k(N_1+10N_2)$, где N_1 — количество пятен на видимой стороне Солнца, N_2 — ко-



Европа в снегах

*В весенних лугах
Молодые травы собираю
Тебе в подношение.
А на рукава неустанно
Падает, падает снег.*

Коко-Тэнно, пятьдесят восьмой государь Японии

Пятое марта 2005 года уже стояло на дворе, а Европа все еще была полностью запорошена снегом, в чем не трудно убедиться, посмотрев на фотографию, полученную в этот день спутником «Энвисат» Европейского космического агентства. Более того, за обильным снегопадом, который длился целую неделю, последовал вполне сибирский мороз — в Голландии, где розы уже привыкли расцветать в феврале, столбик термометра опустился ниже 20 градусов мороза! Во Франции и Великобритании закрылись школы, а полиция не рекомендовала ездить на автомобилях из-за снежных заносов. Итальянские крестьяне, у которых снег засыпал всходы, уже подсчитали убыток от неожиданного каприза погоды — 650 миллионов евро. Кто знает, не следствие ли это случившейся 14 февраля вспышки на Солнце? О гипотезе, связывающей эти два события, в следующей статье.

С.Анофелес



ФОТОИНФОРМАЦИЯ



личество групп пятен, k — коэффициент, привязывающий наблюдения различных обсерваторий мира к результатам наблюдений в Цюрихе. В честь автора этот индекс солнечной активности, который на долгие годы стал ее основным показателем, стали называть числом Вольфа (W). Оказалось, что значения чисел Вольфа меняются от нескольких единиц в период покоя до полутора-двух сотен во время повышенной солнечной активности. Поскольку изменения происходят циклично с периодом примерно 11,2 года, этот цикл и назвали солнечным. Заметим, что сейчас заканчивается 23-й цикл с начала регулярных наблюдений за Солнцем.

Существуют и другие индексы, характеризующие солнечную активность. Один из них А-индекс: среднесуточное значение флуктуаций компонентов магнитного поля, которое рассчитывают по часовым средним значениям максимальных амплитуд за каждые три часа. Планетарный А-индекс меняется от нескольких единиц при спокойном Солнце до десятков и даже свыше полутора сотен при солнечных возмущениях.

Поток радиоизлучения на длине волны 10,7 см — еще один параметр интенсивности солнечных возмущений. По его величине в 1963 году введен индекс F10.7. Он измеряется в солнечных единицах потока (с.е.п.), причем $1 \text{ с.е.п.} = 10^{-22} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц})$. Его значения меняются от 75 до 250. Такими краткими сведения о солнечной активности. Магнитное поле Земли сильно зависит от нее. Каждый день из-за взаимодействия солнечного ветра с ионосферой, напряженность поля колеблется с амплитудой порядка $5 \cdot 10^{-4}$ Эрстед. Однако при солнечных вспышках амплитуда колебаний вырастает в тысячу раз и более (запомним это). Самые известные катаклизмы, которые случаются при этом, — отключение электростанций из-за перегрузок, выход из строя радиоаппаратуры, поломки космических аппаратов и аварии на протяженных металлических объектах вроде нефте- и газопроводов или линий электропере-

дач, где возникают токи в тысячи ампер. А вот о том, что аномалии погоды могут принадлежать к числу неприятностей такого же рода, до недавнего времени никто не догадывался.

Немного научной идеологии

В ноябре 2002 года журнал «Химия и жизнь» опубликовал небольшую заметку «Солнце утопило Европу». В ней впервые была высказана гипотеза о влиянии солнечной активности на количество осадков в различных регионах Земли. В последующие три года участвовавшие аномалии погоды заставляют серьезнее задуматься о ее справедливости. История же появления гипотезы была такова.

При исследовании реакции океана на воздействие тайфунов были получены удивительные результаты. Оказалось, что за несколько часов перед резким усилением скорости ветра в тайфуне на поверхность океана выпадает столько осадков, что его верхний стометровый слой сильно опресняется на площадях в десятки тысяч квадратных километров. Такие объемы никак не согласовывались с общепринятой физической картиной углубления тайфунов. Дело в том, что основной поставщик энергии для тропических циклонов, как принято считать, — водяной пар, который поступает от океана.

Он вовлекается в облачные башни — мощные облачные структуры, возникающие в процессе формирования тайфуна и окружающие его «глаз», и стремительно поднимается в верхние слои тропосферы. Там пар и конденсируется, выделяя при этом много тепла. При повышении температуры и влажности воздуха (влажный воздух легче сухого) его плотность в центре тайфуна падает. Ясно, что интеграл по высоте от плотности, то есть давление, также падает. Это приводит к еще большему увеличению скорости ветра. В то же время при конденсации водяного пара в облачных башнях не только выделяется тепло, но и образуется

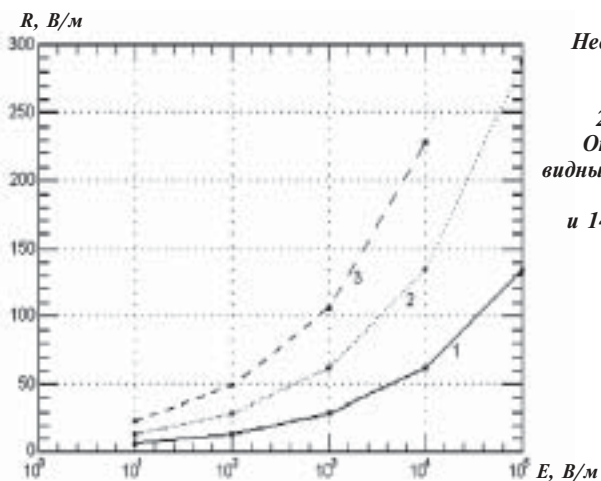
жидкая фаза воды. Воду могут приносить в облака и турбулентные вихри, которые затягивают мелкие капли с гребней волн. После многократных фазовых переходов (при которых соль из воды выделяется и в твердом виде разносится на большие расстояния) в облаках накапливается критическая масса пресной воды. Она выпадает в виде осадков и очень сильно опресняет верхний слой океана. Во время международной морской экспедиции «Тайфун-90» участвующие в ней наши ученые, в том числе и автор этих строк, это опреснение впервые обнаружили и исследовали при прохождении тайфунов «Ед», «Янси» и «Фло».

Однако когда по известным формулам рассчитали, какой поток влаги от океана должен поступить в тайфун, чтобы обеспечить такие осадки, баланса не получилось. Значит, существуют еще какие-то силы, способствующие увеличению скорости ветра и поступлению воды в облачные структуры тайфунов. Тут-то и появилась упомянутая выше гипотеза: это могут быть силы электрического взаимодействия как между облаками циклона и поверхностью океана, так и внутри облачных структур.

Порождение электричества внутри облачных структур общеизвестно. При фазовых переходах в облаках (вода-снег-вода) происходит поляризация частиц и образуется электрическое поле. Как правило, верхняя часть конвективных облаков несет положительный заряд, нижняя — отрицательный.

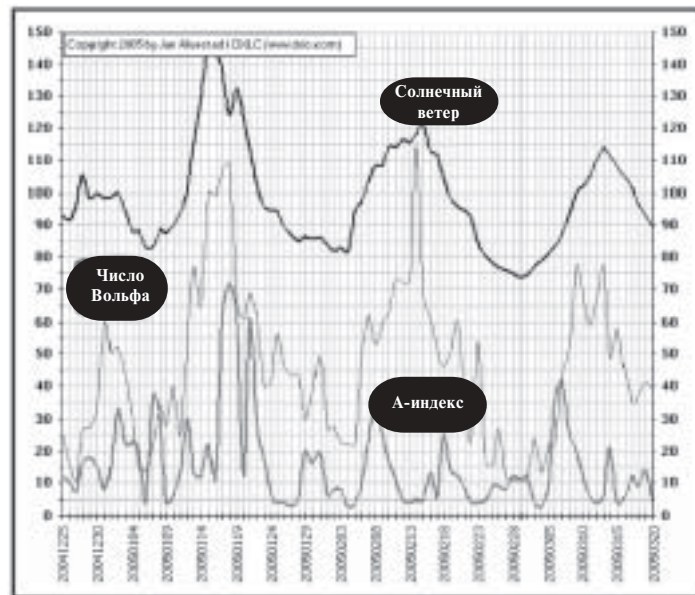
Но, кроме фазовых переходов, источником электричества для облаков могут быть заряженные капли, поступающие от океана как за счет турбулентного вовлечения, так и за счет электрического взаимодействия между противоположно заряженными нижней границей облаков и каплями. А источником электрического заряда капли могут служить теллурические токи в океане, которые возникают при взаимодействии морской воды, масса которой огромна, с магнитным полем планеты. Вблизи берегов и

Специалисты по физике Солнца любят оперировать понятиями вроде «от Солнца оторвалась магнитная линия». Чтобы понять это выражение, вспомним закон природы: если есть поток электронов или протонов, то есть электрический ток — он обязательно индуцирует магнитное поле. Для пустоты (космоса) связь электрического и магнитного полей достаточно проста и дается уравнениями Максвелла: — ротор (вихрь) напряженности электрического поля (E) равен произведению магнитной проницаемости (m_0) на частную производную по времени от напряженности магнитного поля со знаком минус. И наоборот: ротор напряженности магнитного поля (H) равен произведению диэлектрической проницаемости (ϵ_0) на частную производную по времени (t) от напряженности электрического поля. Математически это выглядит так: $\text{rot } E = -m_0 \nabla H / \nabla t$, $\text{rot } H = \hat{a}_0 \nabla E / \nabla t$. То есть если от Солнца к Земле идет поток протонов (электронов), то одновременно от Солнца к Земле распространяется магнитное поле в виде спирали (спираль — векторное произведение вектора скорости на ротор этой скорости), охватывающей все линии токов протонов. Даже если бы летел всего один протон, то вокруг него все равно было бы магнитное поле. Таким образом, например, в системе прямоугольных координат с центром на Солнце магнитное поле будет иметь три компоненты этой спирали — по направлению линии тока, по касательной к вихрю скорости и по глубине (высоте).



Зависимость критического радиуса капели от напряженности электрического поля для трех значений заряда капели: 1 — 1 нК; 2 — 10 нК и 3 — 50 нК. (1 нК=10–12 Кулон). Кстати, заряд обычных облачных капели составляет от 0,03 нК — для мелких капели и до 10 нК — для крупных

Неспокойное Солнце начала 2005 года. Отчетливо видны вспышки 18 января и 14 февраля



океанических фронтов проводимость морской воды анизотропна, то есть максимальна вдоль берега или фронта и минимальна по нормали к ним. Поэтому теллурические токи достигают максимальных значений именно вдоль берегов и фронтов в открытом океане и направлены параллельно им. Более того, во время солнечных вспышек их величина в многометровой толще может исчисляться тысячами ампер!

Итак, получается, что, с одной стороны, морская вода — электролит и способна, как любой электролит, аккумулировать определенное количество электричества. С другой стороны, морская вода не настолько хороший проводник, чтобы ее молекулы не стремились поляризоваться во внешнем поле. Индуцированное в магнитном поле электричество (теллурический ток) поляризует молекулы воды по схеме: $H_2O \otimes (H^+ + OH^-)$. Вода практически несжимаема. Это

означает, что ее молекулы упакованы оптимально, а именно в виде тетраэдра: четыре молекулы по углам, пятая в центре. Из-за резко выраженной полярности в каждой вершине тетраэдра располагается положительно заряженный ион водорода; а второй ион водорода связан с отрицательно заряженным ионом кислорода этой же молекулы. Стало быть, получившиеся при поляризации ионы водорода и определяют положительный заряд на границе раздела вода—воздух. Там возникают дополнительные электрические силы, пропорциональные напряженности электрического поля и направленные в область с меньшей диэлектрической проницаемостью, то есть от моря в атмосферу. Эти силы интенсифицируют испарение. В летящих в магнитном поле соленых брызгах во время шторма тоже индуцируется некоторое количество электричества. Напряженность электрического поля между облачной

системой формирующегося циклона и поверхностью моря может достигать 10^4 – 10^6 Вольт/м. Для относительно мелких брызг электрические силы (пропорциональные количеству электричества в брызгах и напряженности поля) в таком поле весьма значительны и вполне соизмеримы с силой тяжести. При некотором радиусе электрическая и гравитационная сила оказываются равны; капли с меньшим радиусом сумеют преодолеть притяжение планеты и подняться в облачные системы. В результате объем воды в облаках, а равно их электрический заряд существенно увеличиваются.

Тайфуны, другими словами, тропические циклоны, — это огромные трехмерные вихри. В них образуется гидромагнитное динамо, движущая сила которого пропорциональна напряженности электрического поля в облачных башнях. Чем больше заряженных частиц (электричества) в об-

лаках (следовательно, и выше напряженность магнитного поля), тем больше скорость их движения. Вектор скорости этих движений ориентирован по направлению вращения вихря. Величина скорости дрейфа заряженных частиц может достигать нескольких десятков метров в секунду, что, за счет увлечения воздуха, существенно увеличивает скорость ветра в циклоне.

Итак, резюме:

— солнечные вспышки воздействуют на магнитное поле Земли, резко меняя амплитуду вариаций его напряженности; это усиливает теллурические токи в Мировом океане, где соленая вода, будучи электролитом, накапливает электрический заряд за счет поляризации;

— поляризация морской воды приводит к тому, что ее поверхность несет положительный заряд; силы электрического взаимодействия между положительно заряженной поверхностью воды и отрицательно заряженной нижней границей облаков усиливают испарение воды и вовлечение положительно заряженных капель при штормах в облачные структуры.

Солнце, ливни, снежные заносы...

Как и тропические тайфуны, близкие нам циклоны высоких широт — это тоже трехмерные гигантские вихри. Погоду на европейской части России в основном определяют те из них, что зародились в Средиземном море или Атлантическом океане. Они меняют температуру воздуха и приносят осадки, количество которых и определяет погодные катаклизмы. Обильные снегопады — заносы на дорогах и лавины в горах, весной паводки и наводнения, их недостаток — засухи, лесные и степные пожары.

Безусловно, большая часть приходящих циклонов формируется по известным из динамической метеорологии законам (см. «Химию и жизнь», 2000, № 11–12). Это вторжение холодных воздушных масс в более теплый и влажный воздух над океаническими (морскими) водами. Такие условия существуют на границе теплых течений, вдоль побережий относительно теплых морей, а также «пятен» более теплых вод в открытом океане с пространственными масштабами в сотни и даже тысячи километров. Там же, кстати, есть условия и для возникновения наиболее сильных теллурических токов. Такие циклоны при спокойном Солнце формируются за

7–12 дней и, как правило, не сопровождаются аномальными осадками. А вот солнечные вспышки либо воздействуют через описанные выше механизмы на уже существующий циклон, усиливая и насыщая его влагой, либо способствуют формированию нового мощного циклона. При этом сила воздействия зависит от времени суток, поскольку ночная сторона Земли защищена от прямого потока электромагнитного излучения взбунтовавшегося Солнца. Чтобы не быть голословным, приведу несколько ярких примеров.

29 июля 1990 года вспышка на Солнце: А-индекс=105, W=160, Flux=190. 15 августа в Москве за 12 часов выпало 21,7 мм осадков. При скорости солнечного ветра 320 км/с поток электромагнитного возмущения за 5 суток достиг ионосферы Земли, а спустя неделю циклон сформировался и достиг Москвы.

4 июня 1991 года была сильнейшая вспышка на Солнце: А-индекс=200! W=180, Flux=260, а 6 июня в Москве за сутки выпало 58,2 мм осадков! Энергия этой вспышки воздействовала на уже сформировавшийся средиземноморский циклон. При скорости солнечного ветра около 1000 км/с возмущение достигло ионосферы Земли всего за 42 часа.

13 июля 1991 года вспышка на Солнце: А-индекс=135, W=140, Flux=200. А 24 июля в Москве выпало 31,7 мм осадков — для июля это почти половина месячной нормы. Одиннадцать суток потребовалось на формирование средиземноморского циклона и его подход к Москве.

С 27 по 29 июля 2002 года была весьма большая активность Солнца: W=190! Flux=250. Во всей Европе начались сильнейшие наводнения.

18 августа 2003 года на Солнце мощная вспышка: А-индекс=110 и 21 августа — вторая, менее мощная вспышка: А-индекс=60. С 1 по 2 сентября 2003 года в Москве выпало 35 мм осадков. Для сентября это больше месячной нормы.

Необходимо особо выделить вторую половину 2004 и начало 2005 года. Обычно Солнце некоторое время бывает относительно спокойным, далее происходит всплеск активности, и затем оно вновь остается спокойным. Однако в 2004 и начале 2005 года Солнце находится в постоянном «возбуждении»: его активность колеблется, правда со сравнительно небольшой амплитудой. Возможно, именно с этим связаны наблюдаемые аномалии погоды.

Например, 18–19 января 2005 года произошел всплеск активности: А-ин-



ГИПОТЕЗЫ

декс=75, W=110, Flux=145. И 19–22 января мощнейшие снегопады на северо-востоке США. Засыпало Нью-Йорк и парализовало движение по 95-му шоссе — главной магистрали вдоль восточного побережья США. На юге Австралии — сильнейшее наводнение. В России засыпало Москву и главное шоссе южного направления — магистраль «Дон». А что уж тут говорить про снегопады, которые шли в Москве чуть ли ни до конца марта.

На этом можно было бы поставить точку, но...

Государство тратит сотни миллионов рублей на борьбу с последствиями стихийных бедствий, хотя, казалось бы, выгоднее надежно прогнозировать их. Однако для надежного прогноза необходимо исследовать природные явления, которые делают погоду. К сожалению, у нас все наоборот. Единственное направление по тропической метеорологии в стране (изучение тайфунов, а они, кстати сказать, воздействуют и на территорию России; исследование явления Эль-Ниньо/Ла-Ниньо у берегов Южной Америки и его влияния на погоду, в том числе на погоду в России, и т. д.), которое вел Институт экспериментальной метеорологии в Обнинске, оказалось государству не нужным. Оно прекратило финансирование фундаментальных исследований и прогнозов тропических циклонов и тайфунов. Изложенные здесь первые результаты интересной работы получены на общественных началах.

Что еще можно почитать по этой проблеме:

Монин А.С. Солнечный цикл. Л. Гидрометеиздат. 1980.
Шулейкин В.В. Физика моря. Москва, изд. «Наука». 1968.
Пудов В.Д., Петриченко С.А. «Известия АН. Физика атмосферы и океана», 2000, № 5.

