



НАУКА
И ПРОГРЕСС

Лилия Алексеева
**НЕБЕСНЫЕ СПЛОХИ
И ЗЕМНЫЕ ЗАБОТЫ**





НАУКА
И ПРОГРЕСС

Лилия Алексеева
НЕБЕСНЫЕ СПОЛОХИ
И ЗЕМНЫЕ ЗАБОТЫ

Издательство «Знание»
Москва 1985

АЛЕКСЕЕВА Лилия Михайловна в 1964 году окончила физический факультет МГУ по специальности «атомная физика». В 1968 году защитила кандидатскую диссертацию, имеет около 30 научных публикаций, систематически читает публичные лекции по линии общества «Знание». Работает научным сотрудником НИИ ядерной физики МГУ. «Небесные сполохи и земные заботы» — ее первая научно-популярная книга, до этого печаталась в научно-популярной периодике.

Рецензенты: член-корреспондент АН СССР Э. Р. Мустель и доктор физико-математических наук К. Г. Иванов.

Алексеева Л. М.

А47 Небесные сполохи и земные заботы. — М.: Знание, 1985. — 160 с. — (Наука и прогресс).

25 к.

100 000 экз.

В книге рассказывается о физических процессах, происходящих в ближайшем космосе, о современных теориях, объясняющих эти процессы, включая полярные сияния, или, как они называются в просторечии, сполохи. Разгадать природу сполохов пытались давно. Так, одним из первых к правильному их пониманию подошел М. В. Ломоносов. Но только сейчас физики, имеющие в своем распоряжении самые современные средства изучения космического пространства, получили непосредственный доступ к объекту исследования, оказывающего, как выяснилось, влияние на многие стороны земной жизни.

Для широкого круга читателей.

А 1903040000—004
073(02)—85 22—85

ББК 26.23
551.5

© Издательство «Знание», 1985 г.

Знакомые людям с глубокой древности полярные сияния только сейчас получили достаточно полное объяснение. Оказалось, что это явление тесно связано с процессами, протекающими на Солнце, в межпланетной среде и магнитосфере Земли. Множество проблем, ранее относившихся к разным наукам, оказались связанными друг с другом.

Первые же запуски искусственных спутников Земли были нацелены на изучение природы полярных сияний. Исследования на спутниках привели к открытию радиационных поясов Земли, выяснили структуру магнитного поля Земли и помогли найти решение многих проблем, связанных с полярными сияниями. Сейчас перед наукой, перед человечеством встал вопрос о воздействии космических условий на атмосферу и биосферу, в конечном счете — на погоду и здоровье людей.

Эта книга рассчитана на читателя, впервые знакомящегося с природой полярных сияний и другими явлениями ближнего космоса. В книге доступно и живо рассказано о том, что происходит в магнитосфере Земли, как взаимодействуют поля и частицы, почему светятся верхние слои атмосферы, зачаровывая и случайного наблюдателя полярных сияний, и специалиста-исследователя. В книге отражена история изучения полярных сияний, даны яркие эпизоды из жизни ученых.

Высокая квалификация автора позволяет ему везде четко обозначать грань достоверного, не выходя за рамки твердо установленных фактов.

Доктор физико-математических наук
ЛОГАЧЕВ Ю. И.



Сполох, сполоха — всякого рода беспокойство...

хлопоты... общий вызов на помощь...

Сполохи — северное сияние, столбы.

Спóлóхи дышат, дрожат, мерцают,
то ярко, то бледно.

Сполохи играют разноцветными,
пестрыми огнями.

В. Даль. Толковый словарь
живого великорусского языка

Полярное сияние. При этих словах почему-то вспоминается детство. Тогда мы так умели сопереживать, что вместе с героями фильмов и книг сами брели по снежным пустыням, дрейфовали на льдине, зимовали на берегу океана. Полярных сияний насмотрелись мы тогда на всю жизнь.

Может быть, поэтому взрослый житель средних широт о них как-то не думает, если только сам не станет вдруг свидетелем редкого зрелища — полярного сияния в совсем неполярном районе.

«Общеизвестных истин», относящихся к полярным сияниям, не так много. Еще в школе нам объяснили, что это явление сродни электрическому разряду в газах и что светящиеся буквы над соседним магазином, по существу, — то же сияние. При вспышках полярного сияния бывают радиопомехи и дрожит магнитная стрелка компаса. Вот, пожалуй, и все.

Ненамного больше знают о них северяне. Говорят иногда: сияние — к морозу. Но это скорее относится не к сияниям, а к небу, которое становится ясным с наступлением сильных холодов. Ночью на нем видны сияния,

днем — солнце. И примета есть такая же: зимой солнце на небе — к морозу. Как это ни удивительно, но даже в фольклоре коренных народов Севера полярные сияния почти не отражены. Другие явления природы — снегопады в тундре, приход льдов к побережью, ветер с берега и ветер от берега — это все есть, а вот горят сияния или нет — это будто не касается живущего под ними человека и уж никак не влияет на его дела.

Чуть ли не единственное исключение — фольклор эскимосов. По их древнему поверью, люди, умершие не своей смертью, поднимаются на небо к сполохам, в сказках сполохи «играют огненными мячами». Есть легенда о бездетном охотнике, видевшем, как с неба срывается маленький сполох и ярким огоньком падает возле его жилища. Считая, что сполох принес ему счастье, он называет родившегося потом сына Сполохом. Но эскимосы — особые люди, можно сказать, люди искусства. Они выделяются замечательным мастерством резьбы и гравировки по кости, выразительностью танца, стройностью хоровых песен-импровизаций. Кому же, как не им, отозваться на чарующую красоту «пожара небес»!

Полярное сияние действительно неотразимо. Даже сообщения исследователей обычно начинаются с настоящих гимнов его красоте. Вот известный советский полярник Г. А. Ушаков описывает достоверно и точно (мы еще будем обращаться к этому описанию за деталями) виденное им в Арктике сильное сияние. Получается прямо-таки стихотворение в прозе: «Небо пылало. Бесконечная прозрачная вуаль покрывала весь небосвод. Какая-то невидимая сила колебала ее. Вся она горела нежным лиловым светом. Кое-где показывались яркие вспышки и тут же бледнели, как будто на мгновение рождались и рассеивались облака, сотканые из одного света. Сквозь вуаль ярко светили звезды. Вдруг вуаль исчезла. В некоторых местах еще раз вспыхнули лиловые облака. Какую-то долю секунды казалось, что сияние погасло. Но вот длинные лучи, местами собранные в яркие пучки, затрепетали бледно-зеленым светом. Вот они сорвались с места и со всех сторон, быстрые, как молнии, метнулись к зениту, на мгновение замерли в вышине, образовали огромный сплошной венец, затрепетали и потухли».

В наше время полярные сияния можно смотреть не только снизу, но и сверху, сбоку, изнутри. Первыми людьми, увидевшими его в необычном ракурсе, были кос-

монавты В. М. Комаров, К. П. Феоктистов и Б. Б. Егоров. О встрече с сиянием на космической орбите мы узнаем из взволнованного репортажа Г. М. Гречко: «Тысячи прожекторов выстроились в такие извилистые линии над Америкой и били вверх... У Земли — были зеленого цвета. Сквозь нас проходили и выше уходили — красного цвета. Тысячи их там переливались огнями. Внизу — города, вокруг — бьют вот эти прожектора на высоту 400—500 км, и мы сквозь эти завесы проходили. Фантастическое совершенно зрелище. За два с половиной месяца полета мы такого еще не видели и вряд ли увидим».

По впечатлениям В. В. Коваленка и В. П. Савиных, космический корабль влетает в полярное сияние, как в огненную стену. «Словно идем на посадку», — замечают космонавты (при снижении, когда космический аппарат входит в плотные слои атмосферы, он так разогревается от трения о воздух, что экипаж видит в иллюминаторы вместо привычной космической черноты красный свет и даже пламя — это горит обшивка корабля).

В. И. Севастьянову в течение трех минут, пока корабль летел над полярным сиянием, казалось, что внизу — снежная буря.

Ничего не говорится о каких-либо особенных приключениях, связанных с сиянием, только дружно реагируют очевидцы на его красоту. И кажется, нет свойств у сияния, важных для человека, кроме красоты, словно сияния — произведения «чистого» искусства. А что касается радиопомех да подергиваний стрелки магнитного компаса, то в эпоху, когда суда ориентируются по гирокомпасу, а летчиков держит на курсе радиопривод, это если и неприятность, то обычно умеренная.

Между тем на исследование полярных сияний брошены сейчас огромные научные силы. Люди следят за сияниями с поверхности Земли и из космоса, летают вдоль них на скоростных самолетах, изучая их формы и протяженность; пускают в них геофизические ракеты и поднимают к ним приборы на аэростатах. Опубликованы сотни теоретических работ, так или иначе касающихся полярных сияний. Чем же вызван такой интерес к прекрасному явлению природы, которое вроде бы ни с чем особенным на Земле и не связано? Дело здесь в том, что, наблюдая полярные сияния, мы наблюдаем космос.

Бортовые приборы спутников собирают данные об

основных обитателей ближнего космоса — быстрых (энергичных) заряженных частицах. Такого рода частицы, попадая в верхние слои земной атмосферы, вызывают свечение воздуха — полярные сияния. Небо высоких широт представляет собой что-то вроде экрана гигантского телевизора: распределением частиц, которые бомбардируют этот экран, заставляя его светиться, управляют космические процессы. Явление, долгие годы бывшее символом освоения суровых полярных широт, стало в наши дни символом изучения космического околоземного пространства, светящийся занавес с бахромой можно увидеть теперь на обложке книги по космофизике или на эмблеме совещания специалистов по ближнему космосу.

Что же видно на природном «голубом экране»? Обобщим. «Телепередачи», цветные, с мятущимся изображением, какое описал Ушаков, бывают сравнительно редко. Типичная картина — сияния куда более спокойные, одноцветные или с небольшой подсветкой. Самые малоподвижные имеют и самый простой вид. Это белесые с желтизной пятна и ровно светящиеся линии (дуги). Среди дуг есть по-своему замечательные: длинные, узкие, четко очерченные — при ширине до нескольких десятков километров (бывают и уже одного километра) они тянутся в направлении примерно восток — запад на расстояния сотен и даже тысяч километров. Может быть одновременно несколько параллельных дуг. Дуги часами остаются неподвижными или медленно плывут по небу. Но вид дуги может внезапно измениться: вся она пойдет вдруг вертикальными лучами — подвижными столбиками света, станет похожей на свисающий занавес или бахрому. Это сходство становится еще сильнее, когда занавес начинает колыхаться и на нем появляются вертикальные складки. Они иногда заворачиваются на полный оборот и даже больше, и тогда нижний край занавеса выглядит как цепочка двойных спиралей. Впрочем, спираль может быть настолько большой, что весь небосклон занят лишь ее частью. Такие беспокойные дуги легко распадаются на отдельные светящиеся пятна.

Но даже над теми формами сияний, которые при наблюдении с Земли должны были бы восприниматься как простые, с ровным свечением, космонавты, находясь на орбите, видят области с лучистой структурой, где

стоят светящиеся столбы — «прожекторы». Если с Земли смотреть на лучистое полярное сияние, находясь прямо под ним, то кажется, будто лучи сходятся. Это тот же эффект перспективного сокращения, из-за которого нам кажутся сходящимися вдали рельсы железной дороги. Нижние концы лучей находятся на высоте от 100 до 150 километров. Горизонтальные размеры лучей — от нескольких десятков метров до нескольких километров. Не всегда лучи «вделаны» в дугу или пятно, иногда просто горят отдельной связкой.

Нередко большая часть неба бывает покрыта ровным свечением. И есть черные полярные сияния — темные места внутри свечения. Они имеют вид тонких лент или четких вытянутых эллиптических отверстий.

Все эти, как их называют специалисты, неоднородности, или формы, сияний обычно движутся. Их скорость считается небольшой по меркам науки о сияниях, она не превосходит двух—трех километров в секунду, причем иногда формы движутся так медленно, что глазу кажутся неподвижными. В лучистых формах скорость отдельных лучей больше — до 50 и даже 80 километров в секунду. Вот как описывает такое движение знаменитый путешественник и ученый Ф. Нансен: «Вдруг из светящейся ленты выскакивают лучи; они почти достигают зенита; еще и еще — они мчатся с дикой быстротой по верху ленты с востока на запад; они летят словно издалека, издалека, все приближаясь и приближаясь».

Даже самые спокойные формы полярных сияний практически никогда не появляются от раза к разу на одном и том же месте. Сияние не может в заранее известный час заглянуть к нам в окно, как это делает солнце.

Можно ли узнать что-нибудь определенное о космосе, наблюдая полярное сияние — это непростое явление, которое само стало изучаться всесторонне лишь недавно? Оказывается, можно, и немало. Но при этом нужно на время отвлечься от подробностей и взглянуть на все с более широкой точки зрения, попытавшись представить себе общую картину через наблюдения в отдельных точках. Заметим, что и на экране обычного телевизора невозможно воспринять изображение, скрупулезно рассматривая маленький кусочек экрана.

Первый шаг в создании общей картины сделали в начале 60-х годов советские ученые О. В. Хорошева и

Я. И. Фельдштейн. Они поставили вопрос так: где на Земле полярные сияния случаются одновременно? На фоне того, что говорится и пишется о физике XX века, этот вопрос звучит с какой-то средневековой непритязательностью. И тем не менее верного ответа на него не было. К началу космической эры полярные сияния оставались на удивление неизученными.

Вот пример. Даже сквозь сильное полярное сияние видны звезды (вспомним уже приведенный отрывок из Ушакова), и всякий раз, когда состояние неба не позволяет увидеть звезды, нельзя видеть и полярные сияния. Разглядеть звезды днем мешает солнечный свет, по этой же причине должны быть «невидимками» полярные сияния, случившиеся в светлое время суток. Тот вполне очевидный факт, что звезды не наблюдаются на дневном небосклоне, не мешает нам знать, что они на нем есть. На этот счет уже много веков нет сомнений. А в подобном вопросе о полярных сияниях — случаются ли они днем, оставаясь невидимыми, или же их просто нет в это время суток — даже году в 1960-м господствовало неверное представление: специалисты считали, что сияния бывают только ночью!

Между тем такое невидимое полярное сияние заметить даже легче, чем дневные звезды. Людям давно известно, что при полярных сияниях меняется магнитное поле, появляются его возмущения. Еще в старину моряки-поморы говорили: «На пазорях matka дурит». Пазорями они называли полярные сияния, маткой — компас. Точные приборы-магнитографы регистрируют магнитные возмущения и при очень слабых полярных сияниях. Значит, если сияние не видно, о его присутствии можно судить по измерениям магнитного поля на поверхности Земли. Почему же дневные полярные сияния так долго не обнаруживали себя? Дело здесь в том, что при прочих равных условиях случаются они, как установила О. В. Хорошева, на более высоких широтах, чем ночные. Временами их можно видеть даже простым глазом: когда вблизи полюса устанавливается почти круглосуточная полярная ночь, сияния в часы, близкие к полуденным, наблюдать не так уж трудно. Однако сказалась неосвоенность высоких широт: меньше наблюдателей, меньше наблюдений — труднее выявить закономерности. Полярные сияния оставались как бы за кадром. Прямо по Козьме Пруткову: «Многие вещи нам непонятны не потому,

что наши понятия слабы, но потому, что не входят в круг наших понятий».

Выполнив тщательный анализ наземных наблюдений, О. В. Хорошева и Я. И. Фельдштейн нашли, что полярные сияния горят одновременно в некоторой кольцевой области, которая охватывает магнитный полюс Земли. В зависимости от обстановки в космосе это кольцо то стягивается к полюсу, то, наоборот, растягивается, сползая в более низкие широты. В среднем его полуденная (обращенная к Солнцу) часть занимает полосу между $74,5^\circ$ и $79,5^\circ$ геомагнитной широты (такой широты, 90° которой соответствуют полюсу, но не географическому, а магнитному), полуночная часть захватывает полосу $60,5^\circ$ — $75,5^\circ$. На одних участках этого кольца сияния видны лучше, на других хуже или вовсе не видны, как, например, днем; где-то они могут выглядеть как неподвижные, ровным светом горящие дуги, в других местах — двигаться, вспыхивать и переливаться. Но при всем этом разнообразии они образуют целостную систему. Ее стали называть овалом полярных сияний, или авроральным овалом. И таких овалов на Земле два — по одному вокруг каждого магнитного полюса.

Аврора, как известно, — богиня утренней зари. При чем тут утренняя заря? Ни при чем. Однако как раз ее именем древние римляне называли полярные сияния. Они бывают редко на средних и низких широтах, а когда случаются, тон их обычно красновато-розовый. Видно, цвет и определил древнее название полярных сияний — «аврора», которое вошло затем в ряд европейских языков. Потом, когда появились спутники и полярные сияния стали всесторонне изучаться, обнаружилась масса явлений, с ними связанных. По-русски эти явления можно было бы назвать «полярносиянными», но это звучит несколько громоздко. Поэтому и в русский язык вошли выражения типа «авроральные явления».

Середина 70-х годов. В читальном зале я открываю очередной номер геофизического журнала. Вот она — картина, которую так давно хотелось увидеть! Передо мной снимок полярного сияния, переданный из космоса, с борта спутника, летевшего на высоте 1400 километров. Светящаяся линия тянется на многие тысячи километров, замыкаясь кольцом вокруг магнитного полюса. А сколько было споров, составляют наблюдаемые с Земли дуги полярных сияний единую систему, авроральный

овал, или нет! Вот и в журнале читаю: «Одно такое изображение стоит сотен часов работы научного семинара»...

Теперь такие снимки уже не редкость. Их получают сканированием, последовательным просмотром полярной области путем перемещения объектива фотокамеры или радиолуча. Состояние неба перестало быть помехой для наблюдений. Но снимки, сделанные из космоса, когда под спутником ясная погода, особенно красивы: горят сияния, а сквозь них видна Земля с такими знакомыми по картам очертаниями материков и океанов.

Был когда-то такой забавный случай. В начале 20-х годов в Германии состоялась защита диссертации на тему «Проблемы космической физики». Ее автором была Лизе Мейтнер — первая в Германии женщина-физик, получившая ученую степень. Впоследствии она вошла в историю науки благодаря ряду замечательных работ по ядерной физике. Но тогда имя женщины в научном контексте звучало непривычно. Видимо, это и сбило с толку журналиста, назвавшего в газете ее диссертацию «Проблемы косметической физики». Но только ли в непривычности дело?

Известный советский физик Д. А. Франк-Каменецкий о значении слова «космос» писал так: «По-гречески слово «космос» значит украшение, порядок. В древнегреческой философии космос противопоставлялся хаосу — беспорядку, слепому случаю. Для древних греков понятия порядка и красоты были тесно связаны. Античная космология была прежде всего красивой: небесные тела считались вделанными, как драгоценные камни, в хрустальные сферы, издававшие при своем вращении прекрасные музыкальные звуки (так называемая «гармония сфер»). Законы природы, по их мнению, должны были удовлетворять прежде всего эстетическим требованиям. Эта точка зрения держалась в философии и науке долго — недаром даже Коперник считал, что орбиты планет должны быть круговыми лишь потому, что круг красивее эллипса. Таким образом, сходство слов «космический» и «косметический» на самом деле вовсе не случайно».

Вряд ли древние греки удивились бы, узнав, что обычно лицо космоса, каким оно проступает на небесном телеэкране, — светлое кольцо простых и ясных очертаний. Этот привычный вид аврорального овала — как

испытательная таблица, которую мы видим на экране домашнего телевизора, когда по программе нет ни фильмов, ни репортажей.

Однако когда космос возмущен, порядка в очертаниях овала становится меньше, красоты же, пожалуй, больше: здесь-то и появляются телепередачи с движением и цветом. Об их сюжетах — потом.

2. ИСТОКИ И ИСТОЧНИКИ



О ты, таинственный свет, что ты такое
и откуда ты приходишь?

Фрицьоф Нансен. Дневниковая запись

Передо мной — фотокопия старого рисунка с видом полярного сияния. Оно горело над Парижем 12 января 1589 года. Что же было тогда на небе? Рисунок четкий, и сомнений быть не может. Ближе к зениту была конница и, головой вниз, какие-то рыбы, у горизонта — два воина в доспехах, неспешно идущие навстречу друг другу. В Европе, лишь недавно освободившейся от религиозного деспотизма средневековья, все необычное, что появлялось на небе, считали знамение небесным. Когда такое случалось, нужно было не упустить момент и рассмотреть важные для себя детали. А если человеку очень хочется или очень надо увидеть что-то, он иногда это видит независимо от того, что происходит на самом деле. Поэтому любое свидетельство очевидца приходится принимать «с поправкой» на его личность. Если же она — увы! — не ясна или не внушает доверия, важно не дать увлечь себя даже самым сногшибательным рассказом, например о вчерашней встрече с иноплане-

тянином. А ведь кроме людей, искренне заблуждающихся, есть и такие, которым хочется любой ценой быть интересными.

Можно представить себе, как волновались непривычные к сияниям верующие, видя над собой огненные «персты», «кресты», «мечи», «зарева» и пр. Крайне мало объективной информации и суждений о полярных сияниях осталось в средневековых документах всей Центральной и Южной Европы.

В дохристианские времена к сияниям относились более реалистично. Их пытался классифицировать Аристотель, давая названия отдельным формам сияний. Зная о причудливости сияний, о том, насколько редко бывают они в районе Средиземноморья, можно не удивляться, что на таком материале закономерности не выявлялись, и формы, отмеченные Аристотелем, не опознаются современными учеными. Одна из форм называется у него, например, «прыгающие козлы». Сейчас трудно представить себе, в чем увидел Аристотель сходство с прыгающими козлами. На древних зарисовках полярных сияний проглядывает некоторая «рогообразность» форм, может быть, это вызвало у Аристотеля такую ассоциацию?

Римский философ Сенека писал о полярных сияниях: «Некоторые из них выглядят как пустота, когда под светящейся короной свечение отсутствует и образуется как бы овальный вход в пещеру; другие — как бочки, когда видно большое закругленное пламя, перемещающееся с места на место или горящее неподвижно, или — как бездна, когда небеса, кажется, открываются, чтобы извергнуть пламя, которое до этого скрывалось в их глубине... Среди них примечательны те, которые имеют вид огня на небе. Иногда они стоят высоко, сияя среди звезд, иногда так низко, что могут быть приняты за далеко горящую усадьбу или город...» По свидетельству Сенеки, в 37 году новой эры было сияние такое красное, что люди решили: «Горит вся колония Остия», и император Тиберий поспешил выслать туда для помощи своих солдат. Любопытно отметить, что и почти две тысячи лет спустя сияние смогло произвести точно такое же впечатление: 25 января 1938 года пожарные команды некоторых южноевропейских городов выехали к громадному зареву-сиянию в северной части горизонта.

В эпоху Возрождения переводятся труды античных авторов, и взгляды ученых древности становятся извест-

ными в Европе. И вот в 1621 году французский философ и астроном, горячий пропагандист античной науки, священник, который, по словам К. Маркса, стремился примирить свою католическую совесть со своим языческим знанием, П. Гассенди, подчеркивая преемственность современной науки с античной, вводит научный термин «северные авроры» для обозначения полярных сияний.

Совсем другим было отношение к сияниям в те же средневековые времена на севере Европы, где сияния не редкость. Здесь бороздили холодные моря норманны (викинги) — воинственные предки нынешних датчан, норвежцев и шведов. Занимаясь торговлей и заодно грабежом, они везде то оставляли, то сворачивали свои «морские базы» — колонии. Память о таких поселениях в названиях Мурманского (то есть норманнского) побережья и города Мурманска на Кольском полуострове. Соседи-русские приглашали норманнов как специалистов по военному делу. Но наемник есть наемник, и русское название норманнов — варяги — приобрело еще и другой смысл: так до сих пор зовут людей нужных, но чужих, пришедших на время и имеющих, так сказать, свой интерес. Норманны были умелыми и отважными мореходами: их небольшие корабли — всего до 25 пар весел с одним прямым парусом — пересекали Северную Атлантику, наведываясь в Гренландию и задолго до Колумба к берегам Америки. Такой корабль изображен на старой скандинавской гравюре: обледенелая резная фигура на носу, ледяные шапки на воинских щитах, укрепленных по бортам, над прорезями для весел; внизу — отогнутые назад гребни волн вровень с бортами, сверху — созвездие Большой Медведицы и дуга полярного сияния. Точно подмеченная деталь: одна звезда светит прямо сквозь сияние. Никаких чудес, кроме людского мужества.

Подобный образ жизни вели наши новгородцы, и их летописи также описывают полярные сияния без всяких намеков на чудеса. «Столб восхожаху, из них же сияние, аки солнечные лучи, и явись на небеси пламя колебашеся, яко вода морская симо и овамо на много час, и от пламени того бысть светло, аки от лучи», — рассказывает Новгородская летопись (Архивная) о полярном сиянии, случившемся 23 сентября 1552 года. Летописец не забыл отметить: «а с запада темнота велия», подчеркнув, что свет в небе шел не от зашедшего солнца.

По-видимому, Северная Европа и была родиной науки

о полярных сияниях. В первой половине XIII века в Норвегии появилась замечательная летопись (и она же философский трактат) «Королевское зеркало». Научный уровень этого труда — автор его, к сожалению, остался неизвестен — выглядит особенно контрастно в сравнении с наивными представлениями тогдашней Европы о незнакомых странах. В «Королевском зеркале» сообщались точные данные о размерах и форме льдин в далеких районах Ледовитого океана, обсуждались тонкие вопросы о морских течениях. Почему, например, «массы льда иногда лежат спокойно, как и можно ожидать, но иногда сильно и быстро движутся, так что идут нисколько не медленнее корабля, плывущего с попутным ветром; одинаково часто они несутся как по ветру, так и против него». В «Королевском зеркале» содержатся отзвуки горячих дискуссий о происхождении полярных сияний. Не все существовавшие версии о природе сияний кажутся автору серьезными. У него были основания для критического отношения, поскольку он специально выяснял надежность суждений. «Я часто встречал людей, длительное время проживших в Гренландии,— пишет он,— и был сильно удивлен тем, что они не имели четкого представления о том, что же представляют собой полярные сияния. Как же формулировались гипотезы о происхождении полярных сияний? Как ни парадоксально, но часто это делается на основе чисто умозрительных заключений, основанных на разумности и правдоподобности предлагаемых версий».

Автор приводит три гипотезы, которые кажутся ему правдоподобными, но оговаривается, что за достоверность их он ручаться не может.

Одна из них основана на старых космологических представлениях скандинавов, и мы ее трогать не будем. По двум другим полярные сияния — это отблески зашедшего Солнца или свет, который будто бы излучают льды при очень большом морозе. Эти идеи жили, по-видимому, очень долго. Их мы находим полтысячелетия спустя в стихотворении М. В. Ломоносова «Вечернее размышление о божием величестве при случае великого северного сияния»:

Но где ж, натура, твой закон?
С полночных стран встает заря!
Не солнце ль ставит там свой трон?
Не льдисты ль мещут огонь моря?

Как и «заря-аврора» древних, здесь это уже не гипотезы: они привлечены автором, чтобы дать образ сверкающего в ночи, красочного Севера. Пушкин считал себя учеником Ломоносова, и поэт Ломоносов вспоминается часто только как новатор русского стихосложения: он стоит, по выражению Гоголя, «впереди наших поэтов, как вступление впереди книги». Но есть в его стихах строки, гениальность которых видна даже сквозь славу таких продолжателей, как Пушкин. Стихи Ломоносова на «космические темы» воздействуют на нас подобно музыке, сопровождаемой игрой цвета и переменчивостью тяготения. И такой уж оказалась индивидуальность поэта, что самые поэтические его строки посвящены явлениям природы и науке о них. Это по случаю полярного сияния написаны им головокружительные стихи про ночное небо:

Открылась бездна, звезд полна;

Звездам числа нет, бездне дна.

Ломоносов много занимался полярными сияниями. Он пытался рисовать сияния «сколько позволяла скорая их переменчивость». Эти зарисовки, выгравированные на меди, до сих пор хранятся в Академии наук СССР. Они изображают виденные им отдельные «фигуры» — формы сияний. Но надо сказать, что при великом разнообразии форм сияний наблюдения такого рода мало что проясняют, — вспомним Аристотеля и его малополезную классификацию. Но во время одного из таких редких сияний над Петербургом Михаил Васильевич, «смерив», нашел, что «вышина верхнего края дуги около 420 верст» (то есть около 450 километров). Он установил, что полярные сияния не относятся к явлениям в атмосфере — плотной газовой оболочке Земли, ибо «положение северного сияния выше пределов атмосферы показывает сравнение зари, с ним учиненное» (для Ломоносова не было сомнения, что заря — «не что иное есть, как воздух атмосферный, освещенный от солнца, скрытого горизонтом»).

Теперь эти высоты — выше плотной атмосферы — относят к космическому пространству. Современные космические корабли с космонавтами на борту летают обычно на высоте 200—400 километров. Нижняя граница сияний, как мы теперь знаем, находится от земного наблюдателя на расстоянии 95—100 километров, и чем ярче, сильнее сияние, тем ниже эта граница опускается.

По вертикали свечение захватывает сотню-другую километров, однако может достигать и 400—600, а иногда и 1000—1100 километров.

«Что видимое сияние в месте, лишенном воздуха, произведено быть может, в том мы искусством уверены», — писал Ломоносов. «Искусством» были его лабораторные опыты по электрическому разряду в газах. Он проводил их со стеклянными шарами, откуда откачивался, но не полностью, воздух. «Возбужденная электрическая сила в шаре, из которого воздух вытянут, внезапные лучи испускает, которые в мгновение ока исчезают, и в то же время новые на их места выскакивают, так что непрерывное блистание быть кажется. В северном сиянии всполохи или лучи... вид подобный имеют», — говорил о своих наблюдениях Ломоносов. Замеченная им аналогия электрического разряда в газе и полярных сияний имеет очень глубокий смысл. Свечение неба при сияниях и свечение воздуха в сосуде с газовым разрядом, так же как и свечение экрана обычного телевизора, с физической точки зрения — это одно и то же явление: свечение вещества при бомбардировке его потоком быстрых заряженных частиц. Разница лишь в том, что именно обеспечивает частицы высокой энергией движения — космический ли процесс или электрическое напряжение, подведенное к электродам установки, и какое именно вещество — воздушный или твердый экран — встречают эти частицы на своем пути.

Мысль об электрической природе полярных сияний была высказана Ломоносовым на заседании конференции Академии наук в 1751 году. Независимо от него и почти одновременно с ним к выводу о близости природы газового разряда и свечения неба при полярных сияниях пришли Ж. Кэнтон в Англии и Б. Франклин в Америке. Примерно в то же время епископ Бергена Э. Понтопидан написал книгу под названием «Первая естественная история Норвегии», в которой был затронут необыкновенно широкий круг вопросов — от месторождений нефти в Северном море до происхождения мух, червей и полярных сияний. Понтопидан также указывал на электрическую природу сияний: по образному сравнению автора, Земля, вращающаяся в межпланетной среде, напоминает крутящуюся сферу в электрофорной машине, а электрические разряды в такой машине соответствуют вспышкам полярных сияний. По-

видимому, это первая точка зрения на полярные сияния как на результат взаимоотношений Земли и окружающей ее межпланетной среды. Нам еще много предстоит говорить об этих взаимоотношениях. С космосом связывала полярные сияния и замечательная экспериментальная работа французского ученого Ж. де Мерана, относящаяся к 1733 году. Он обнаружил статистическую связь явлений на Солнце и на Земле: среднее число крупных полярных сияний соответствовало среднему числу солнечных пятен! Этот факт оказался фундаментальным для современной нам науки о полярных сияниях. Но, опираясь на него, нельзя забывать слово «среднее»: эта закономерность существует только, как говорят физики, в среднем. Если же рассматривать причинно-следственную связь, то закономерность размывается: утверждение, что у каждого сияния есть прямая солнечная причина, о которой можно судить по числу солнечных пятен, неверно. Чтобы не пускаться сейчас в детали, я просто сошлюсь на газетные заметки о попытках чисто наземными средствами спровоцировать полярные сияния.

Насколько продвинуло науку выявление электрической природы сияний и их космического происхождения, видно по такому факту. Практически в то же время, в 1733 году, вышла работа шведского физика и астронома А. Цельсия — имя его известно всем благодаря предложенной им шкале температур. И работа эта была написана с позиции идеи, что полярные сияния представляют собой отблески горных вершин!

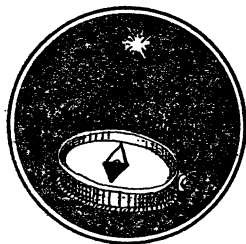
Впрочем, автор не особенно настаивал на своей трактовке, поскольку вообще считал существовавшие тогда гипотезы легковесными. Он утверждал, что «гораздо полезнее оставить после себя потомкам правильные наблюдения, чем легко опровергаемые теории», и призывал ученых сосредоточить внимание на тщательных наблюдениях. Ему многим обязана наука о полярных сияниях. К истине этот исследователь шел своим путем: он настойчиво добивался создания разветвленной сети станций, на которых можно было бы вести одновременные наблюдения за полярными сияниями. Ему удалось организовать ее, но он не дожил до того времени, когда его дело стало приносить весомые плоды.

Из наблюдений сетью станций постепенно стала вырисовываться общая, глобальная картина полярного сия-

ния: сначала на уровне «чаще — реже видно», потом на уровне размазанного изображения, которое получается, когда снимают движущиеся предметы с большей, чем нужно, выдержкой, еще позже был выявлен «мгновенный портрет» всей системы сияний — авроральный овал. Внутри этого кольца полярных сияний — магнитный полюс Земли. Эта черта, если рассматривать сияние как телепередачу из космоса, отражает принцип устройства космического телевизора: он работает на магнитном поле.

Земля потому и располагает своим телевизионным аппаратом для показа репортажей из космоса, что обладает собственным магнитным полем. У ее соседей-планет с этим обстоит по-разному. Значительные магнитные поля есть у Юпитера и Меркурия, и многие процессы вблизи этих планет идут так же, как на Земле. Открыто небольшое магнитное поле у Марса. Из исследованных пока крупных небесных тел Солнечной системы лишь Луна и Венера лишены заметного собственного магнитного поля.

3. ПОЛЯРНАЯ ЗВЕЗДА И МАЛЕНЬКИЕ УПРЯМЫЕ СТРЕЛКИ



Ориентация стрелки не зависела от того,
кто ее подвешивал, его уровня
образования, религиозных убеждений
и характера, от высоты места,
от времени или погоды.

Е. Паркер. Космические магнитные поля

Незримое присутствие магнитного поля Земли люди ощущали давно. В их руках был простенький прибор — компас. Если держать его на ладони, то стрелка, уста-

новившись, всегда показывает одно направление. Упрямство стрелки производило впечатление чуда.

«Чудо такого рода,— пишет великий физик А. Эйнштейн в своей «Творческой биографии»,— я испытал ребенком 4 или 5 лет, когда мой отец показал мне компас. То, что эта стрелка ведет себя так определенно, никак не подходило к тому роду явлений, которые могли найти себе место в моем неосознанном мире понятий (действие через прикосновение). Я помню еще и сейчас — или мне кажется, что помню,— что этот случай произвел на меня глубокое и длительное впечатление. За вещами должно быть что-то еще, глубоко скрытое».

И здесь же он отмечает, что наука представляется ему в известном смысле как непрерывное бегство от «удивительного», от «чуда».

Научному выявлению магнитного поля нашей планеты помог тот же компас. Он оказался незаменимым при быстром ориентировании в пути. В самом деле, определить направление на север можно, например, по полученному положению Солнца. Это удастся проделать без сложных приборов, просто проследив за движением тени от, скажем, воткнутой в землю палки. Но тень движется из-за суточного вращения Земли. Чтобы ее смещение оказалось достаточно большим, как это необходимо для измерений, нужно по крайней мере несколько часов — время, сравнимое с сутками. В пути, особенно в морском, такое измерение нереально. И люди давно заметили на небе одну-единственную звездочку, Полярную звезду, которая всегда была на одном месте (вернее, почти на одном месте: в науке о Земле все — почти, особенно для современного человека с его точными приборами). Она и помогала держать курс. Но нельзя же двигаться только по ночам, да и то выбирая ясную погоду! Упрямая магнитная стрелка готова была работать всегда, круглосуточно.

Вряд ли мы узнаем когда-нибудь, кто открыл ее чудесное свойство. Самые ранние источники — китайская энциклопедия, составленная между 265 и 419 годами новой эры, а в Европе записки английского монаха Некэма, относящиеся к XII веку,— описывают компас как прибор, уже употребляемый моряками.

Русские использовали компас еще в XV веке. С его помощью они устанавливали свои навигационные знаки — приметные кресты. Таких крестов было очень много на

побережье Северного Ледовитого океана. В XVI—XVII веках их видели и описывали западные путешественники. Крестов стало гораздо меньше после 1628 года, когда во исполнение царского приказа «О запрещении морского хода в Мангазею» большая часть крестов была сожжена, «чтоб однолично в Сибирь, в Мангазею, немецкие люди (иностранцы.— Л. А.) водяным путем и сухими дорогами ходу не проискали» — так говорится в отчете непосредственного исполнителя — тобольского воеводы. Эти кресты, сделанные из огромных бревен, своей поперечиной указывают направление магнитной стрелки, а не направление на географический полюс, которое определяется по движению Солнца или звезд (угол между этими направлениями называют углом магнитного склонения).

Что магнитная стрелка отклоняется от географического направления север — юг, китайцы заметили еще в XII веке. Но люди долго не придавали этому значения. Считалось, что магнитную стрелку притягивает Полярная звезда и поэтому стрелка должна указывать на географический полюс, отклонение же ее от этого направления объясняли техническим несовершенством компаса. При недалеких плаваниях это отклонение почти не изменялось, да и ввести на него поправку ничего не стоило.

Всерьез задуматься о причинах такого отклонения пришлось знаменитому Колумбу при обстоятельствах весьма драматических. Он вел свои корабли на запад к берегам еще не открытой Америки. С компасом творилось что-то неладное: угол отклонения его стрелки от направления на Полярную звезду постепенно уменьшался. Потом компас стал указывать точно на нее, и затем стрелка сдвинулась совсем уж в немыслимую сторону! Такое поведение компаса вызывало страх у суеверных моряков. Им хотелось повернуть назад. Назревал бунт. Колумб, решив, что в этих условиях «полезная ложь лучше вредной правды», незаметно для других повернул картушку — циферблат компаса и объяснил экипажу, что сместилась не магнитная стрелка компаса, а Полярная звезда. Вера моряков в свой компас была так сильна, что им оказалось легче представить себе сдвиг Полярной звезды, чем отклонение стрелки компаса. Они приняли всерьез слова капитана и успокоились. Колумб же стал первооткрывателем переменного магнитного склонения и уже потом — Америки.

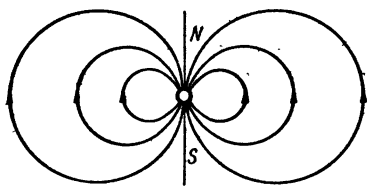


Рис. 1. Силовые линии
дипольного поля

Этот эффект связан отчасти с несовпадением точек магнитного и географического полюсов нашей планеты — в Северном полушарии расстояние между ними без малого 1600 километров. Осознали это несовпадение не сразу. Человек, введший понятие магнитного полюса Земли, считал, что он совпадает с географическим, а различие в величине магнитного склонения между разными точками на поверхности Земли объясняется расположением материков и океанов: океаны немагнитны, тогда как материки могут быть сложены из магнитных материалов (таких, например, из которых делают магнитные стрелки). Этим человеком был В. Гильберт, ученый и придворный врач английской королевы Елизаветы. В 1600 году вышел его фундаментальный труд по земному магнетизму. Слова «Земля — большой магнит» принадлежат ему.

Для подтверждения этой мысли Гильберт намагнитил железный шар и показал, что на маленькую магнитную стрелку он действует подобно Земле. Теперь физики называют такие лабораторные установки, моделирующие Землю с ее магнитным полем и окружающую часть ближнего космоса, «терреллами»: в переводе с итальянского «террелла» значит «маленькая Земля», «Земелька». Магнитное поле однородно намагниченного шара, изображавшего в опытах Гильберта Землю, имеет характерный вид (рис. 1): каждая силовая линия — это дуга, которая выходит из поверхности шара в Южном полушарии, проходит над экватором и снова входит в шар, но уже в Северном полушарии. Над двумя точками поверхности шара силовые линии поднимаются вертикально (перпендикулярно поверхности, по радиусу) — это точки магнитных полюсов. Чтобы каждый раз не возвращаться к описанию такого магнитного поля, нам придется запомнить его название-термин: дипольное поле.

Магнитное поле, как известно теперь всем, создается электрическими токами. Токи, текущие в глубине нашей планеты, отвечают за ее дипольное магнитное поле:

Но токи на Земле текут не только в ее глубине. Из школьного курса физики мы помним, что микроскопические электрические токи есть внутри всех молекул и атомов, а в намагниченных телах эти токи ориентированы так, что действуют как общий макроскопический ток. Залежи природных магнитных материалов создают аномалии магнитного поля на Земле. Гильберт не зря придавал большое значение их существованию. Они действительно могут быть очень велики: например, в разных точках Курской магнитной аномалии угол магнитного склонения может отличаться на $\pm 180^\circ$, а величина поля в два-три раза превосходить величину магнитного дипольного поля Земли. Однако аномальности чувствуются лишь в определенных районах и убывают по мере того, как мы отъезжаем от них. Общее дипольное магнитное поле Земли ощутимо по всей планете. Это фоновое поле по отношению к аномалиям. Аномалиями магнитного поля Земли интересуются в первую очередь геологи, ведущие по ним разведку полезных ископаемых, а дипольным, фоновым полем планеты — космофизики. И не только потому, что по мере удаления от поверхности Земли в космос магнитные поля аномалий перестают чувствоваться гораздо раньше, чем дипольное поле.

Вернемся еще раз к террелле Гильберта. Хотя магнитное поле однородно намагниченного шара и общее магнитное поле земного шара вне этих шаров одинаковые — дипольные, сами шары «сделаны» из разных материалов. И это принципиально важно. В самом деле, намагниченность постоянного магнита — любого куска магнитного материала — это отражение высокой упорядоченности составляющих его частиц: настолько высокой, что их «микротоки» действуют как один общий ток — настолько они согласованы между собой. Тепловое движение частиц расстраивает эту упорядоченность. Стоит постоянный магнит, в данном случае, терреллу, как следует нагреть или тем более расплавить, как исчезнет ее намагниченность, а значит, и магнитное поле. Но известно, что температура нарастает по мере углубления в недра нашей планеты. В больших пещерах всегда тепло: даже зимой здесь (если нет особых сквозняков) температура не бывает ниже 10—12 градусов. В шахтах — жарко. По современным представлениям, через один километр глубины температура увеличивается

примерно на 33 градуса, а по косвенным, но внушающим доверие данным, внутри Земли находится расплавленное, жидкое, ядро. Почему же тогда Земля — большой магнит? И тем более почему Солнце — магнит? Все помнят «пейзажную» зарисовку в стихах Ломоносова:

Там огненны валы стремятся
И не находят берегов;
Там вихри пламенны крутятся,
Борющись множество веков;
Там камни, как вода, кипят,
Горящи там дожди шумят.

Какая уж тут, казалось бы, намагниченность! Но магнитные поля на Солнце есть. Есть общее магнитное поле, есть гигантские магнитные аномалии — темные пятна на Солнце. Мы и видим их как темные благодаря магнитному полю: оно здесь настолько велико, что сковывает свободное движение солнечного вещества (это вещество проводит электрический ток, а движение всякого проводника поперек магнитного поля затруднено), и в область солнечного пятна меньше поступает горячего, а следовательно, ярко светящегося вещества из глубин Солнца. И пятна эти появляются, движутся, исчезают и появляются вновь.

«Космос становится лабораторией, в которой мы заново открываем магнитное поле, узнаем о нем нечто новое и тем самым постигаем его роль во Вселенной», — сказал астрофизик Е. Паркер.

Вопрос, как меняется магнитное поле Земли, затрагивает эту собственную, почти еще не понятую людьми жизнь планеты как космического тела. И Земля продолжает жить этой жизнью.

Точные магнитные карты требуют обновления из-за изменений магнитного поля Земли каждые 5—10 лет. Но систематические наблюдения за магнитным полем люди ведут от силы лет 300. И все же есть возможность судить об изменениях его и в более далекие времена. Ученые заметили, что керамические изделия — кирпичи, различные сосуды и т. д. — заметно намагничены. В то же время необработанные глина и песок — практически немагнитные материалы. Оказывается, свою намагниченность керамика приобретает в печи во время обжига и намагничивает ее магнитное поле Земли. Приобретенная намагниченность сохраняется потом

очень долго. Это свойство керамических изделий «запоминать» магнитное поле, существовавшее в момент их изготовления, очень полезно для ученых. Особенно надежно удается провести археомагнитные измерения, когда известно, как именно стоял сосуд или лежал кирпич в тот момент, когда производился обжиг. Так бывает, например, когда археологи при раскопках обнаруживают старую печь с невынутой керамикой.

О полях в более далекие времена узнают по аналогичной «магнитной памяти» некоторых геологических пород. Но при таких палеомагнитных измерениях точность определения магнитного поля намного ниже, поскольку за долгие геологические времена «запомнивший» кусок материала успел принять участие хотя и в медленных, но запутанных перемещениях и теперь уже трудно сказать, как именно он был ориентирован, когда «запоминал» магнитное поле.

Все эти прямые, археомагнитные, палеомагнитные данные говорят о том, что магнитный полюс движется, то есть меняются токи внутри нашей планеты, отвечающие за ее общее дипольное поле. Магнитный полюс Северного полушария примерно 570 миллионов лет назад находился возле экватора, потом постепенно смещался на север, пока не достиг своего нынешнего положения между северной оконечностью Гренландии и ближайшей к этой оконечности точкой берега Северной Америки. Как уже говорилось, от северного географического полюса его отделяет примерно 1600 километров. И надо заметить, что прошлые положения магнитного полюса, определенные по геологическим образцам, взятым на территории Европы, отличаются от определенных по образцам из Америки. Эту разницу, а она весьма заметна, можно объяснить с точки зрения гипотезы о дрейфе континентов, согласно которой материи движутся друг относительно друга подобно плавающим льдинам. Палеомагнитные измерения заставляют многих ученых поддерживать эту гипотезу.

Перемещается магнитный полюс, и вместе с ним «гуляет» овал полярных сияний.

Во времена морских походов викингов (это примерно 700 год) сияния часто наблюдались над Норвегией и Данией, но в XIII веке это было уже не так. Автору «Королевского зеркала» не зря приходилось расспрашивать о них людей, «длительное время проживших

в Гренландии»: сияния в то время были часты именно над Гренландией. Ушли в XIII веке сияния от берегов Европы, но интерес к ним у скандинавов остался.

Любопытно отметить, что, когда вслед за появлением спутников пошла в рост молодая наука космофизика, печаталось множество оригинальных научных работ и историческими обзорами поначалу никто себя не утруждал. Первыми их начали делать скандинавы — сказала, видимо, древняя викингская любовь к обстоятельному всестороннему обдумыванию деталей «пожара небес». Недавно доктор Альв Эгеланд, профессор физики университета в Осло, до 1978 года — глава Норвежского комитета по космическим исследованиям, поднял исторические материалы по изучению полярных сияний в Скандинавских странах. Его данные я частично использовала в этой книге.

Специалисты по современным полярным сияниям принимают собственное магнитное поле нашей планеты неизменным: все, что прямо связано с полярными сияниями, длится часы, дни, по отношению к этим, как говорят в науке, «событиям» дипольное магнитное поле Земли можно рассматривать как постоянное. Именно оно важно при изучении процессов, текущих на большой высоте, где даже самые крупные аномалии уже чувствуются слабо. Это дипольное магнитное поле планеты — как бы главный блок в устройстве нашего космического телевизора, для которого экран — небо высоких широт. И хотя, конечно, «на пазорях matka дурит», но эти изменения магнитного поля при телепередачах-сияниях намного меньше собственного дипольного поля, в большинстве случаев — меньше одной сотой его величины.

Первым ученым, сопоставившим полярные сияния и собственное постоянное магнитное поле Земли, был, по-видимому, английский астроном и геофизик Э. Галлей. Это произошло в 1716 году. Этому же исследователю принадлежит заключение, что видимое схождение лучей полярного сияния обусловлено законом перспективного сокращения, а сами лучи направлены по силовым линиям магнитного поля. Галлей был замечательным ученым, наделенным редкостной интуицией и прекрасно чувствующим направление развития науки. О нем вспоминают сейчас все чаще, поскольку подходит срок очередного сближения Земли и кометы, носящей его имя, — встреча произойдет в 1986 году. Галлей произвел силь-

ное впечатление на общественное мнение, рассчитав движение этой кометы и предсказав время ее появления. Своим расчетом он хотел продемонстрировать всем правильность закона всемирного тяготения и вообще законов, открытых его близким другом И. Ньютоном: в них тогда еще сомневались. Галлей помогал делу Ньютона чем мог: так, за свой счет он впервые издал книгу своего друга «Математические начала натуральной философии».

Магнитное поле нашей планеты было объектом пристального интереса Галлея. В 1698 году английское адмиралтейство назначило его, тогда еще молодого офицера и уже ученого, командиром военного судна и поручило ему исследовать магнитное склонение в Атлантическом и Тихом океанах. Им и была построена первая в мире магнитная карта.

Люди все лучше узнавали свою планету. В 1745 году А. де Уллоа во время своего путешествия вокруг мыса Горн видел «северные» сияния в Южном полушарии. Позже обратили внимание, что сияния, которые наблюдал капитан Кук, плаваая по южным морям в 1773 году, совпали по времени с сияниями, виденными над Европой.

Накапливалось все больше фактов, и исследователи начали отчасти тонуть в них. Появилась масса статистических исследований. Главное в статистике — это суммирование, наложение множества данных друг на друга. Далеко не всегда это помогает выяснению истины, а суммирование, выполненное вслепую, даже затемняет ее. В самом деле, направим объектив фотоаппарата на экран домашнего телевизора и сделаем длительную выдержку. Потом, проявив кадр, посмотрим, что «в среднем» было видно на экране. Если мы сфотографируем так какой-то кусок программы «Время», это статистическое исследование может еще что-то дать: в центре кадра будет пятно — «образ ведущего», и это отражает действительность. Но если мы не знаем, когда что передают и ведем наблюдения просто всякий раз, когда есть такая возможность, какое представление составит у нас о происходящем на экране? Артист эстрады, любимец публики, — и башни новостроек, лицо комментатора — и размазанные фигуры быстро движущихся хоккеистов — все смешается при наложении, потеряется главное: «сущностный» портрет происходящего. А в геофизике ценятся самые длинные ряды таких наблюдений! Хуже того, порой

работают с «изображением» не на всем «экране», а на маленьком его кусочке; другими словами, работают с данными наблюдений из одного пункта. Конечно, некоторые количественные закономерности, и даже объективные, можно подметить и при статистическом подходе. Только как понять, к чему относятся эти закономерности? К самим ли сияниям? К распределению ли по поверхности Земли наблюдательных станций? К изменениям ли космической обстановки — к тем разнообразным и сложным процессам, которые люди смогли изучать лишь гораздо позже, когда появились спутники? Можно, поражая посторонних интеллектуальностью, обсуждать все это и подчеркивать сложность науки, но истину это мало проясняет.

Наука стала буксовать.

Норвежец, автор «Королевского зеркала», живший в XIII веке, удивлялся, что люди, часто видевшие полярные сияния, не имеют четкого представления об их природе. Его соотечественник Ф. Нансен, составляя 750 лет спустя отчет о знаменитом дрейфе зажатого во льдах «Фрама», по существу, вторит ему: «Для объяснения причин северного сияния наши наблюдения дали так же мало, как и наблюдения других экспедиций». И это при том, что один из участников экспедиции — С. Скотт-Гансен по поручению Нансена специально следил за сияниями, которые, как отмечает Нансен, горели над «Фрамом» почти каждые сутки в течение трех долгих полярных ночей!

И что обидно, в массе материалов по полярным сияниям совершенно терялись наблюдения и научные выводы, намного опередившие свое время. Им суждена была лишь судьба подтвердить известное изречение: «Новое — это хорошо забытое старое». Взять ту же экспедицию Нансена на «Фраме»...

Всего несколько лет назад изображения аврорального овала, полученные с помощью спутников, открыли интересное явление, тонкое даже по понятиям современной космофизики: дуги сияний расходятся от обращенной к Солнцу, полуденной, точки овала, как усы у кошки. А вот что сообщает Нансен (его книга вышла в 1897 году под русским названием «В стране льда и ночи»): Скотт-Гансен наблюдал сразу после захода солнца, что «северное сияние распространялось от солнца по всему небесному своду, как полосы на внутренней стороне

апельсинной кожицы». Это несомненно то же самое явление.

Впрочем, на это наблюдение Скотт-Гансена обратил внимание Д. И. Менделеев, составлявший программу русской арктической экспедиции. Он полностью занес его в свой конспект.

А сама идея аврорального овала! Мы уже говорили, с каким трудом пробивала себе дорогу идея «мгновенного портрета» системы полярных сияний в 60-х годах нашего века. Но, по свидетельству А. Эгеланда, вывод о том, что полярные сияния образуют светящееся кольцо вокруг Северного полюса, содержался еще в диссертации, защищенной шведским ученым П. В. Варгентином более 200 лет назад! Не так уж много материалов было в его распоряжении, но он сумел обобщить их и сделать правильные выводы.

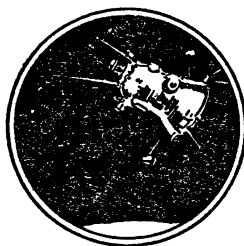
Однако впереди науку о полярных сияниях ждали два рывка. Один из них был связан с великим переворотом в физике, приведшим к появлению квантовой механики. В 1897 году Дж. Дж. Томсон, исследуя газовый разряд, понял, что существует элементарный носитель электрического заряда — электрон, который и вызывает свечение газа при разряде. Х. А. Лоренц ввел представление об электроне в теоретическую физику. Нильс Бор сделал важный шаг к пониманию устройства атома, разобравшись, почему один и тот же атом может светиться разными цветами. Теперь ученые могли узнавать атом по его цветовой палитре — спектру (набору длин электромагнитных волн, которые может «высвечивать» атом, включая и те, которые не воспринимаются человеческим глазом).

Стало ясно, откуда берутся разные цвета, — вопрос, который безуспешно пытался решить еще Ньютон.

Ломоносов думал над происхождением цветов полярных сияний. Теперь, после знаменитого переворота в физике, все становилось на место. Стал ясен принцип свечения полярного неба, стало ясно, что свечение это вызывается отдельными заряженными частицами. Можно было выяснять и обсуждать происхождение и движение этих частиц, другими словами, исследовать процессы, текущие за экраном космического телевизора — над полярным небом.

Второй рывок — появление космических аппаратов, позволивших исследовать это все там, на месте.

4. ТОЧКИ ОПОРЫ



О, дайте точку мне опоры...
«Архимед», самодеятельная опера
физфака МГУ

Майским днем 1961 года огромная толпа молодежи собралась на площади перед зданием физического факультета Московского государственного университета. Задние ряды ее теснились где-то у подножия памятника М. В. Ломоносову, основателю университета. Передние — прибились к нижним ступеням широкой лестницы физфака, поднимались по сторонам ее, как бы двумя теплыми ладонями охватывая небольшую площадку, на которой с микрофонами в руках стояли Нильс Бор и Лев Давидович Ландау. Сзади них толпились студенты и аспиранты в белых «античных» одеждах из простыней, поодаль на стульях сидели разного рода замечательные люди, приглашенные на праздник. Физфаковцы второй раз отмечали придуманный ими день физики — «день Архимеда». (Тогда еще не был введен профессиональный праздник ученых — День науки). За три года до этого, в 1958 году, комсомольская конференция физфака постановила: считать днем рождения Архимеда, а следовательно, и физики, 7 мая 287 года до нашей эры.

Мне повезло: я стояла прямо перед лестницей, откуда все было прекрасно видно. Живой классик казался мне, тогда студентке физфака, чем-то нереальным. Мы тут все — из настоящего, он же словно вернулся к нам на время из вечности. По масштабам нашей, еще коротенькой, жизни было трудно вообразить, что стоящий перед нами человек — подумать только, в 1912 году! — был гостем в лаборатории знаменитого Э. Резерфорда.

Там к этому времени уже сложилось представление об атоме как о подобии Солнечной системы: массивное ядро в центре, вокруг него вертятся по своим орбитам «планеты» — электроны. Бор начинает работать над этой моделью, работает долгие годы, но все дальше уходит от нее. Признанным ученым выводы его кажутся дикими, природа открывается ему с неожиданной, квантовой стороны.

Нильс Бор был очень стар. Он говорил медленно, с хрипотцой, не сразу находя слова. «Отца» атомной физики, видимо, растрогал наш праздник, на глазах его были слезы. Энергичный и подтянутый Л. Д. Ландау переводил за ним: «...Я никогда в жизни не видел столько физиков сразу».

В эти годы наша наука была в моде. Вся страна любовалась изящными физиками — героями фильма М. Ромма «Девять дней одного года». В газетах тянулись бесконечные дискуссии о физиках и лириках. «Что-то физики в почете, что-то лирики в загоне», — отмечали поэты.

В целом на физфаке этой «выделенности» физиков или противопоставленности их кому-то не чувствовалось. Жизнь текла буднично, напряженно и очень интересно. «Лирики» в ней было с избытком. В 1960 году родилась на физфаке комическая «самодельная» опера «Архимед», написанная к физфаковскому празднику. Ее видел и оценил Нильс Бор. «Это остроумно, это замечательно, это что-то необыкновенное, — сказал он после просмотра. — Если студенты работают так же, как веселятся, то я спокоен за завтрашнюю физику». Опера так увлекательно и весело боролась с недостатками, вплоть до таких, каких не было, нет, не будет и быть не может, но с которыми все равно надо бороться (так было объявлено в прологе), что ее охотно смотрели не только физики. «Трех «Аид» за одного «Архимеда», — шутя сказал поэт К. М. Симонов, посмотрев нашу оперу. К 1980 году «Архимед» выдержал больше трехсот представлений в самых различных аудиториях.

Да, впрочем, отзвуки физфаковской лирики тех времен знакомы всем. Я слышала, как диктор, ведущий концерт по заявкам радиослушателей, объявил: «Популярный современный романс «Под музыку Вивальди» — и назвал имена Татьяны и Сергея Никитиных, физфаковцев того же поколения, работающих и сейчас по своей специальности. Часто исполняется по радио и телеви-

дению «Песня о маленьком трубаче». Авторы ее — физики Сергей Крылов и Сергей Никитин.

Если чем и выделялись студенты-физики той поры, то активностью. Студенческие строительные отряды, например, придуманы ими.

Поехали мы во время летних каникул 1959 года, как традиционно ездили перед этим студенты, «на целину» — на сельскохозяйственные работы. Но с легкой руки секретаря комитета комсомола физфака Сергея Литвиненко часть из нас, работавших в Булаевском совхозе на севере Казахстана, стала первым в истории студенческим строительным отрядом (наши последователи почему-то грозно именуются «бойцами» ССО). Мы строили птичник из самана, работали в несколько смен, и те первые в моей жизни рабочие рассветы, когда земля кажется темной и плоской, а небо над ней — светлым куполом с яркими узорами облаков, запомнились на всю жизнь.

Прямо перед встречей с Нильсом Бором мы, тогдашние третьекурсники физфака, только что пережили распределение по кафедрам. Популярны были кафедры, где изучали фундаментальные вопросы теоретической физики. Шли студенты в «лазерщики» к Рэму — так называли на физфаке будущего ректора университета Р. В. Хохлова. Он совершенно четко ощущался в то время как центр, вокруг которого сплываются люди. «Табель о рангах» не отражала пока истинного значения Хохлова: защита докторской диссертации ему только предстояла, руководителем служебных подразделений он не был, и группа энтузиастов вокруг него лишь задним числом стала называться «лабораторией нелинейной оптики».

Однако самый большой конкурс был среди желающих изучать атомную физику. Традиционный предмет ее — вещество в том состоянии, когда оно светится. Оно может многое тогда рассказать о себе на языке спектров составляющих его атомов. Эти спектры выглядят по-разному в зависимости от условий, в которых находятся атомы. По спектрам можно узнать, соединены они в молекулу или в молекулярный ион или остаются свободными, можно судить о температуре вещества, об электрическом или магнитном поле, в которое погружено вещество. Атом может бомбардироваться энергичными частицами (частицами этого же вещества или их посторонним потоком), получать от них энергию для последую-

шего высвечивания кванта света, может терять электроны под их ударами — обо всем этом тоже можно узнать, разглядывая спектр. Вещество как бы само включает многоцветие сигнальных лампочек, сообщающих об его состоянии. Умеешь в этом многоцветии разбираться — в твоих руках ценнейшая информация.

Когда-то в затемненном школьном кабинете нам показали различные режимы, в которых может работать газоразрядная трубка. Простое устройство — два электрода, разреженный газ между ними. Электроны, вырываясь из катода, сталкиваются с частицами газа и заставляют их светиться. Маленькое полярное сияние здесь, в школе, — и свободные электроны, эти загадочные неделимые порции электричества. Нежно светящаяся трубка с газовым разрядом оказалась причастной и к тайне космической бездны и к бездне тайн микромира. На физфаке я пришла на кафедру атомной физики.

Но теперь атомщики занимались еще и другим. Их особенно стало интересовать газообразное вещество со значительной примесью свободных заряженных частиц или вовсе состоящее только из них — плазма. Плазму можно считать четвертым состоянием вещества, потому что при нагревании можно последовательно переводить вещество из твердого состояния в жидкое, в газообразное и потом — в плазму. Если удастся нагреть вещество еще больше — до очень высоких температур, то быстро движущиеся тяжелые положительно заряженные ядра смогут преодолеть силы электрического отталкивания и подойти друг к другу настолько близко, что попадут под влияние других, ядерных, сил, действующих на малом расстоянии. Ядра сольются, произойдет термоядерная реакция («термо» — потому что нужна высокая температура). Такие реакции должны идти в недрах Солнца и идут, к печали человечества, на Земле — при взрыве водородной бомбы.

Суправляемой термоядерной реакцией связаны надежды людей на получение неисчерпаемого источника энергии. Еще с помощью плазмы можно прямо, без всяких турбин, превращать тепловую энергию в электрическую. При этом сокращаются потери энергии: коэффициент полезного действия обычных тепловых электростанций сравнительно мал.

Пламя, даже от спички, — плазма. Таинственная шаровая молния — тоже. Но в общем на поверхности

Земли в естественных, не лабораторных условиях плазмы немного.

Другое дело — в космосе. Во Вселенной 99 процентов вещества пребывает в состоянии плазмы.

В начале 60-х годов уже работали на орбитах первые космические корабли. По инициативе известного специалиста по космическим лучам С. Н. Вернова, впоследствии академика, на спутниках были подняты счетчики заряженных частиц, применяемые в ядерной физике. Проблемы всевозможных земных, лабораторных и космических плазм сплелись вместе. Время открывало перед молодыми физиками-атомщиками интереснейшие перспективы.

Первые же прямые наблюдения в космосе показали, что люди неверно представляли себе обстановку в нем. Считалось, что количество частиц должно равномерно убывать по мере удаления от Земли. Однако на расстояниях порядка тысячи километров от поверхности планеты и дальше их оказалось намного больше, чем ожидалось. Области максимальной плотности получили название радиационных поясов Земли (слово «радиация» в данном случае означает присутствие энергичных частиц; когда говорят «радиоактивное облучение», то имеют в виду и облучение потоком таких частиц).

Ясно было, что сила земного притяжения не может удерживать на таких расстояниях от Земли столько частиц.

Что же мешало этим частицам разлететься?

Современная физика, ищущая подходы к термоядерному синтезу, могла дать ответ раньше, чем прозвучал вопрос: эти заряженные частицы захвачены магнитным полем Земли. В самом деле, для того чтобы началась термоядерная реакция — слияние двух ядер тяжелого водорода в одно ядро гелия, требуется удержать ядра водорода в небольшой области пространства в течение достаточно длительного времени: двигаясь внутри этой области, они в конце концов встретятся и сольются. Удерживать ядра помогает магнитное поле, которое затрудняет, как известно, передвижение заряженных частиц в поперечном к нему направлении на значительные расстояния: попав в такое поле, частица как бы блуждает в нем и не может выйти или выходит, но спустя какое-то время. Длительность этих блужданий зависит от того, как поле распределено в пространстве — гово-

рят, от «конфигурации магнитного поля» и еще от того, в какую его точку и с какой скоростью была запущена частица.

Еще в начале века, задолго до термоядерщиков, эти вопросы изучали астрофизики. Их интересовало, как ведут себя заряженные частицы космической плазмы. Движение каждой такой частицы представляет собой микроскопический электрический ток. Поэтому в космосе существуют магнитные поля и, кроме того, небесные тела, имеющие собственное магнитное поле, оказывают влияние на движение космической плазмы. К середине нашего века разработки на эту тему могли уже считаться самостоятельной наукой. Она и послужила фундаментом для начавшихся потом исследований чисто земных проблем — термоядерного синтеза и прямого преобразования энергии. В развитие этих направлений были вложены крупные средства, и в них стало работать большое число ученых. Теперь исследователи космоса, в свою очередь, могли пользоваться результатами земных разработок по интересующей их теме. Это было тем более кстати, что появились спутники и космические корабли и изучение космоса резко двинулось вперед.

Из астрофизики выделилась молодая наука космофизика, изучающая космос на основе прямых измерений в нем.

Ко времени открытия радиационных поясов Земли уже было хорошо известно, что магнитные поля некоторых конфигураций могут долгое время удерживать определенным образом запущенные в них частицы. Термоядерщикам, которым нужно, чтобы частицы не разлетались, интересно именно это свойство полей, и они называют их ловушками. Это название так укоренилось, что им пользуются и космофизики, хотя для них оно не совсем удачно. Космофизики изучают, как вообще взаимодействуют заряженные частицы и магнитные поля, и им следовало бы называть поля таких конфигураций как-нибудь иначе, «лабиринтами», что ли, подчеркивая, что частице не только трудно покинуть такое поле, но и войти в него снаружи, хотя некоторые частицы тем не менее входят и выходят (как уже говорилось, все дело в том, где находилась частица в начальный момент и какая у нее тогда была скорость).

Магнитное поле в области радиационных поясов Земли близко к дипольному, оно представляет собой

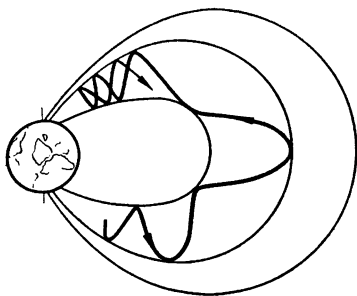


Рис. 2. Движение заряженной частицы, захваченной дипольным магнитным полем

именно такую ловушку. Как и всякая ловушка, слишком энергичную для себя частицу дипольное поле Земли удержать не сможет: она пройдет через него по какой-то плавной кривой. Пути же захваченных полем частиц выглядят совсем иначе. Это спирали со множеством витков, навитые на силовые линии магнитного поля (рис. 2). Движение каждой отдельно взятой частицы, захваченной дипольным магнитным полем Земли, идет по стандартному образцу. Если понаблюдать за частицей в течение некоторого довольно короткого времени, то можно заметить, что частица описала почти окружность — это один виток спирали. Проследив за ее движением дольше, мы увидим, что этот виток «качается» вдоль магнитной силовой линии, уходя на определенное расстояние от плоскости экватора, а затем возвращаясь к ней. Через несколько часов наблюдений станет ясно, что вся спираль постепенно поворачивается вокруг Земли.

Если такая частица сталкивается с другой или попадает под влияние «посторонних» полей — электрических и магнитных, характер ее движения изменяется. Теперь она может оказаться на силовой линии, проходящей на другом расстоянии от Земли, или увеличить размах своих качаний вдоль силовой линии. Если качания становятся очень уж большими, частица может подойти слишком **близко** к Земле, войти в плотные слои атмосферы и потеряться в них. Поэтому в космической ловушке может находиться только та частица, которая в своих качаниях не слишком далеко уходит от плоскости экватора.

Представим себе теперь, что в ловушке находится не одна, а много частиц. Сталкиваясь, они заставляют друг

друга уходить в атмосферу (специалист скажет: частицы выпадают в атмосферу). В конце концов столкновения станут редкими, и оставшиеся частицы уже можно будет рассматривать как отдельные, независимые друг от друга. Они все окажутся сосредоточенными вблизи плоскости экватора и как бы поясом охватят Землю. Так была понята природа радиационных поясов — совокупности заряженных частиц, по существу не связанных друг с другом.

В 1959 году космофизик Т. Голд назвал область, в которой кружатся эти частицы, магнитосферой.

Прошло всего несколько лет, и выяснилось, что все не так просто. Оказалось, что, кроме сравнительно небольшого количества частиц, составляющих радиационные пояса, в космосе есть еще множество частиц меньших энергий, радиационные пояса как бы погружены в пространство, заполненное ими. Эти малоэнергичные частицы уже нельзя было считать независимыми друг от друга. Больше того, оказалось, что все процессы в ближнем космосе так или иначе связаны с этими частицами. Поведение их выглядело сложным и непонятным. Это они, вторгаясь в верхние слои атмосферы, вызывают самые эффектные формы полярных сияний: и резкие, четкие дуги, и цветной мятущийся «пожар небес». Частицы же радиационных поясов отвечают лишь за невзрачное свечение, которое иногда появляется вслед за особенно разбушевавшимися сияниями с экваториальной их стороны. На эти относительно малоэнергичные частицы — плазму околоземного пространства — постепенно сместилось основное внимание исследователей.

Оказалось еще, что наша планета все время находится в потоке плазмы, непрерывно идущем от Солнца, — в потоке солнечного ветра. Солнечный ветер — один из красивейших терминов науки. Не удивительно, что он нравится журналистам: они дружно используют его в названиях статей, очерков, телепередач и других материалов о космофизиках. Существование ветра было предсказано теоретиками. Об эпизодических потоках солнечной плазмы писали известный английский физик С. Чепмен и его сотрудник В. Ферраро в 1931—1933 годах, на постоянное присутствие ветра указали советский геофизик Е. Пономарев и американский астрофизик Е. Паркер в 1957—1958 годах.

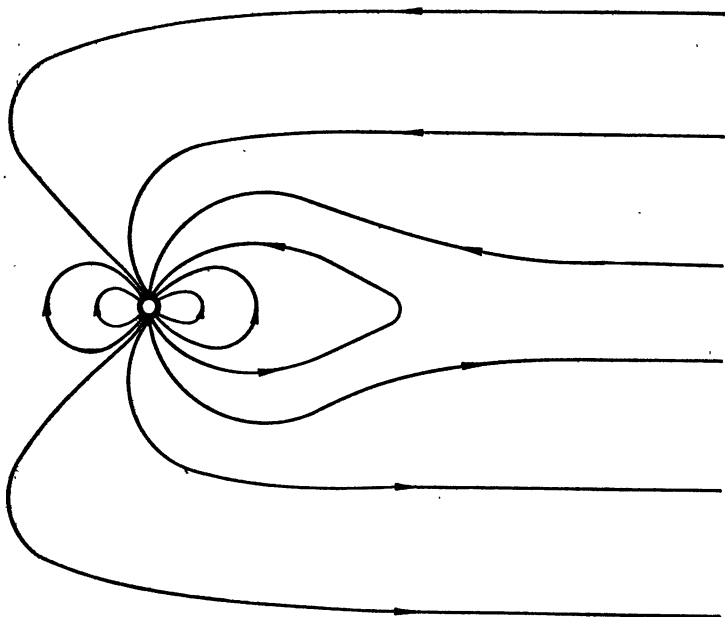


Рис. 3. Сечение магнитосферы плоскостью, проходящей через магнитные полюса Земли и центр Солнца (изображены магнитные силовые линии)

Космические корабли выявили реальное распределение магнитного поля в околоземном пространстве. Оказалось, что, начиная с расстояний около семи земных радиусов от центра планеты, реальное магнитное поле сильно отличается от дипольного поля, создаваемого токами в глубине нашей Земли. Это говорит о существовании в ближнем космосе других токов, искажающих магнитное поле внутренних токов планеты. Это понятно: ведь ближний космос заполнен плазмой — веществом со свободными носителями электрических зарядов, в плазме могут течь токи (причем вовсе не обязательно в направлении электрического поля).

Магнитосфера (в современном понимании это область, занятая магнитным полем, силовые линии которого уходят под поверхность Земли) оказалась вовсе не «сферой». Скорее, она похожа на комету с хвостом (рис. 3). Хвост магнитосферы — это тоже термин науки. Хвост тянется

очень далеко в ночную, противосолнечную, сторону Земли; он уходит на тысячи земных радиусов — это миллионы километров (для сравнения: расстояние до Луны — 384 000 километров). Со стороны Солнца граница магнитосферы — магнитопауза — обычно отстоит от центра Земли на расстояние 10 земных радиусов (то есть на 65 000 километров), с «боков» — до 16 радиусов (106 000 километров).

Ориентироваться в строении ближнего космоса довольно просто. Надо только помнить основной принцип: передвижение частиц на значительное расстояние поперек магнитного поля затруднено.

Что при этом получается?

По отношению к солнечному ветру магнитное поле, созданное токами внутри планеты, представляет собой препятствие. Солнечный ветер обтекает его. Поэтому магнитосфера занимает полость, «вырезанную» в потоке солнечной плазмы. Действительно, плотность частиц, наблюдаемая в этой полости, значительно меньше, чем в солнечном ветре. Естественное исключение составляет сама Земля и ее ближайшие окрестности, включая так называемую плазмосферу — область плотной и холодной плазмы, прилегающую непосредственно к нейтральной атмосфере Земли (в районе средних и низких широт на поверхности планеты).

Нас не удивит, конечно, что Земля расположена в головной части этой полости: при обтекании препятствия быстрым потоком за препятствием всегда остается более или менее вытянутое разреженное (по сравнению с обтекающим потоком) пространство.

Очевидно, наибольшему искажению должны подвергнуться периферийные области дипольного магнитного поля Земли, другими словами, те его линии, которые уходят на большие расстояния от планеты. Такие линии пронизывают поверхность Земли вблизи ее магнитных полюсов. Они-то и заполняют хвост реальной магнитосферы.

Когда-то промелькнул в печати такой рисунок: двое научных сотрудников стоят возле лабораторного стола, на котором лежит шарик со щеточкой волос «на макушке». Тот сотрудник, что повеселее, говорит другому, озабоченному и лысому:

— Скажи, ну кому нужен бильярдный шар с растущими на нем волосами?

Нам сейчас нужен такой шар: на нем легко показать, как устроена наша магнитосфера. Пусть только волосы у шара растут двумя чубами, длинными, как у запорожцев, по обоим концам одного диаметра. Можно было бы с силой метнуть такой шарик, чтобы встречный поток воздуха сдул чубы назад и свел концы их вместе. Летящий волосатый шарик со стороны очень похож на магнитосферу, можно сказать, это ее объемная модель. Встречный поток для реальной магнитосферы — солнечный ветер. Шар представляет ту ее область, где магнитное поле еще не сильно отличается от дипольного. Здесь находятся радиационные пояса Земли, погруженные в разреженную плазму. Волосы чубов — магнитные силовые линии полярных областей Земли. Две пряди — одна из силовых линий, идущих от Земли, из ее Южного полушария, другая — из линий, направленных к Земле и входящих в нее в полярном районе Северного полушария, — составляют хвост реальной магнитосферы. В плоскости, проходящей через магнитные полюса Земли, получается та фигура, которую мы видели на рис. 3.

Обратим теперь внимание на область, где проходит поверхность раздела между внутренними дипольными магнитными силовыми линиями, не искаженными потоком солнечного ветра, и внешними, уходящими в хвост. Можно ожидать, что здесь должны наблюдаться какие-то особые явления, которых нет в других частях магнитосферы. Точки, в которых силовые линии, образующие эту поверхность, пронизывают Землю как в Северном, так и в Южном полушарии, ложатся кольцом, охватывающим магнитный полюс. Вдоль этих колец можно тоже ожидать каких-то своеобразных явлений. И действительно, именно здесь горят полярные сияния! Каждое кольцо — не что иное, как авроральный овал.

Теперь понятно, какие черты ближнего космоса отражает само существование целостного аврорального овала. Он может быть растянутым, далеко отходить от магнитного полюса, может быть, наоборот, сжатым. Но он постоянно присутствует на полярном небе, потому что Земля постоянно обдувается потоком солнечной плазмы. Ведь если бы не было солнечного ветра, не было бы никакого аврорального овала и, возможно, сияний вообще. Солнечный ветер — это постоянно расширяющиеся («испаряющиеся») наружные слои атмосферы Солнца. Поэтому можно сказать: сияниями мы обязаны тому, что

живем прямо в Солнце, да еще тому, что планета наша имеет собственное магнитное поле, «распирающее» солнечную плазму.

Мы уже говорили об авроральном овале как об испытательной таблице на экране естественного телевизора (так и хочется сказать: марки «Магнитосфера»), которым обладает наша планета. В этом качестве используют овал и специалисты: любое обсуждение конкретного явления в околоземном пространстве начинается с вопроса, где в это время находился авроральный овал, другими словами, был ли он растянут или сжат. Вообще в космофизике авроральный овал — это та печка, от которой всегда танцуют. Да и понятно: ведь он представляет собой отпечаток структуры магнитосферы, который позволяет просто, лишь по одним наблюдениям с Земли, определять, какая часть околоземного пространства находится под непосредственным влиянием плазмы Солнца — солнечного ветра.

Отметим в заключение еще одно свойство околоземного пространства. Солнечный ветер искажает собственное магнитное поле Земли на довольно большом расстоянии от нее. Поэтому если вести магнитные наблюдения на спутнике, летящем на высоте, скажем, 1000 километров от поверхности Земли, то и не заметишь разницу внутренних и внешних (хвостовых) силовых линий: здесь недалеко от Земли, они все отходят от нее как дипольные, но на соответствующем расстоянии в космосе внешние линии резко меняют вид, отклоняясь в хвост (см. рис. 1 и 3). Особенно выразительно это выглядит со стороны Солнца: высокоширотные силовые линии, тянущиеся от Земли, сначала направляются, как и дипольные, в сторону противоположного магнитного полюса, но затем резко отклоняются в сторону «своего» полюса, проходят над ним и уходят далеко на ночную сторону (см. рис. 3). Граница раздела между этими линиями и «обыкновенными», как у диполя, на поверхности Земли соответствует 80° магнитной широты. С ночной стороны поверхность раздела линий, похожих на дипольные, и хвостовых силовых линий, очевидно, должна быть менее резкой: это подветренная сторона магнитосферы и здесь переход от силовых линий, похожих на дипольные, к вытянутым, хвостовым происходит постепенно. Поэтому-то авроральный овал и утолщен с ночной стороны.

5. ФИЛОСОФСКАЯ ЗАГАДКА КОСМОФИЗИКИ, ИЛИ МОЖЕТЕ САМИ ПОБЫТЬ КОСМОФИЗИКОМ



Приезжайте ко мне, дорогой соседушко,
ей-богу. Откроем что-нибудь вместе...
А. П. Чехов. Письмо к ученому соседу

Космофизика сейчас быстро движется вперед. О современном положении дел можно судить по такому невыдуманному эпизоду.

Идет научный семинар. Докладчик с воодушевлением начинает свое выступление: «Эта область науки так быстро развивается и успехи ее настолько велики, что выводы устаревают буквально через год-два после того, как они были получены». Реплика с места: «А то, что мы сейчас услышим, тоже устареет через полтора года?» Докладчик продолжает, но уже без прежнего подъема...

В космофизике действительно результаты устаревают довольно быстро. Техника наземных наблюдений становится все лучше и дает возможность уже сейчас вести непрерывное слежение за космосом, спутники и ракеты загружаются все большим количеством приборов, позволяющих проводить комплексные исследования. Хотя прямое изучение околоземного пространства продолжается не так давно, многие работы первооткрывателей, которые лишь прощупывали космос, из-за своей отрывочности уже превратились просто в исторические документы. Наверное, так же разом теряли свою научную ценность отчеты географов-первопроходцев, как только по их следам проходила армия топографов.

На этом фоне кажется удивительной судьба одной концепции, которая была выдвинута в 1961 году, в самом начале космической эры, она легко и изящно предсказыва-

ла важнейшие явления в околоземном пространстве, впоследствии действительно открытые, послужила отправной точкой множества исследований. И все 20 с лишним лет носит скромное название гипотезы.

Первые попытки ее опровергнуть были предприняты, по существу, всего лишь несколько лет назад. Эти попытки носят пока еще частный характер, выводы разных критиков не согласуются между собой. Но даже те, кто в чем-то с ней не согласен, широко используют ее как наглядную схему, позволяющую связать воедино, держать в памяти, обсуждать многообразные сведения о магнитосфере. Эту гипотезу выдвинул английский астрофизик Данжи.

При упоминании этого имени космофизики разных школ и направлений ведут себя очень похоже. Скажут: «Да... Данжи...» — и задумаются. У кого на лице восхищение («Надо же так: одно наглядное соображение, показ, так сказать, на пальцах, и такие далеко идущие выводы, причем опыт подтверждает их!»); у кого удивление («Почему так получается, как может простенькая исходная посылка развернуться в описание таких разнообразных явлений?»); у кого стыдливость («До сих пор наука не нашла чем заменить или как отменить этот показ на пальцах!»).

Гипотеза Данжи — ключ к пониманию физики магнитосферы, и с ней стоит познакомиться.

Физические законы выражаются уравнениями. Но, по словам английского гидромеханика Моффата, «основные уравнения физики могут содержать все сведения о мире, но эти уравнения скрытны и неохотно отдают заключенные в них сведения». Кажется невозможно ни в чем разобраться, не прибегая к сложным математическим формулам. «Однако в основе любой физической теории лежат не формулы, а идеи», — это свидетельство А. Эйнштейна. Концепция Данжи — именно идея. Ее может воспринять даже неспециалист. Мне хочется представить ее читателю от начала до конца еще и потому, что это редкий случай дать некосмофизикам точную научную информацию, так сказать, без деформации.

Данжи стал рассматривать вещество, заполняющее околоземное пространство, как сплошную среду с некоторым электрическим сопротивлением.

— Позвольте, — непременно прервет меня здесь читатель, — какая среда в магнитосфере? Когда столько

толковали о радиационных поясах, говорили о невзаимодействующих частицах. А теперь оказалось, что магнитосфера заполнена средой. Понятно, что космос — не абсолютная пустота, какие-то частицы там есть, но частицы, летающие каждая сама по себе, и среда, которая движется как единое целое,— это совсем не одно и то же!

Действительно, с этим не все гладко. Даже если учесть, что космос в основном заполнен заряженными частицами (а такие частицы оказывают друг на друга электрическое и магнитное воздействия на огромных по сравнению с их размерами расстояниях), остается вопрос: насколько все же сильны эти воздействия? Увы! Непосредственно измерить их с борта космического корабля практически невозможно, поскольку его приборы не дают нам достаточно подробной информации о частицах, удаленных от корабля.

Остается обратиться к теории. А там пока тоже нет ответа...

Кто-то сказал, что если физика-теоретика просят дать математическое описание стола, то он очень быстро находит решение для случая стола без ножек и для случая стола с бесконечным числом ножек, а потом долго и безуспешно бьется над задачей о столе с четырьмя ножками.

Эту шутку вполне можно отнести и к теоретикам-космофизикам.

Плазма магнитосферы очень разрежена, но не настолько, чтобы частицы можно было считать невзаимодействующими друг с другом. Математические методы описания такой плазмы еще не разработаны. Поэтому теоретикам приходится подбираться, так сказать, с одного из двух противоположных концов: либо рассматривать ее как состоящую из отдельных, прямо не связанных между собою частиц (вот он, стол без ножек), либо, наоборот, как некую сплошную среду вроде жидкости, в которой «индивидуальность», то есть положение, скорость и прочее, каждой частицы вообще не выделяется (стол с бесконечным числом ножек). Какой из этих двух противоположных подходов лучше для описания данного явления, выясняется часто лишь на конечном этапе теоретического исследования, при сравнении результата расчета и наблюдений. Например, мы уже видели, что с помощью «одночастичного» подхода можно понять

природу радиационных поясов Земли. Как мы увидим сейчас, другой способ описания реальной плазмы, который уподобляет ее проводящей жидкости, позволяет составить представление о важнейших глобальных процессах в космосе.

Почему авроральный овал то стягивается к магнитному полюсу, то, наоборот, растягивается, сползая в более низкие широты? Почему сияния в овале то слабые, малозаметные, то мощные и яркие? Довольно часто отдельные формы сияний плывут как целое по небу. Куда плывут они и почему? Ясно, что все зависит от космической обстановки. Что же определяет эту обстановку? Гипотеза Данжи дает на эти вопросы однозначный и неожиданный ответ.

Итак, представим себе, что мы имеем дело с текущим проводником (жидким или газообразным; и то и другое физики для краткости называют «жидким» проводником). Когда по такому проводнику идет ток, то движение его, равно как и распределение магнитного поля в нем, может оказаться очень сложным: ведь это движение проводника в магнитном поле, и наш проводник выступает одновременно и в роли электромотора, и в роли генератора тока. В земных установках (электромоторах и динамо-машинах) все гораздо проще. Мы заранее знаем, будет ли наше устройство работать как мотор или как генератор. Иными словами, всегда можем судить, что первично, что вторично: будет ли ток заставлять двигаться якорь с обмоткой или движение будет создавать ток.

Но плазма, наша «жидкость», — это сплошная аморфная масса, в которой одна часть «неучтенным» образом влияет на другую.

Казалось бы, разобраться в поведении такого проводника очень трудно. Однако дело сильно упрощается, если сопротивление проводника настолько мало, что проводник можно считать идеальным. Внутри такого проводника электродвижущая сила должна, очевидно, отсутствовать, иначе по проводнику шел бы бесконечно большой ток, чего в природе не бывает даже в сверхпроводниках. Из школьного курса физики мы знаем, что электродвижущая сила не возникает, когда нет движения проводника поперек магнитного поля. Это означает, что в идеальном проводнике движение и магнитное поле автоматически так согласуются друг с другом, что в

процессе движения нет перемещения вещества поперек магнитного поля: совершая свое даже сложное движение, проводящее вещество не пересекает его силовые линии. Если бы мы в некоторый момент подкрасили такой жидкий проводник вдоль какой-либо одной силовой линии, то потом, наблюдая за течением, мы бы увидели, что подкрашенная линия в потоке движется и изгибается. Но стоит поместить маленькую магнитную стрелку в любую точку подкрашенной жидкости, как эта магнитная стрелочка тут же повернется и встанет в направлении подкрашенной линии. Наша подкрашенная линия, как бы ее ни изогнул поток, продолжает оставаться силовой линией! (Конечно, в реальном жидком хорошем проводнике стрелочка, помещенная на подкрашенную линию, уже не будет указывать точно ее направление, отклонение от него будет тем значительнее, чем меньше взятый нами проводник похож на идеальный.) Таким образом, силовые линии остаются как бы вклеенными в идеальный проводник и движутся вместе с ним подобно ниткам, попавшим в густой текучий клейстер. Физики называют эту согласованность с движением «вмороженностью» силовых линий, хотя сказать «вклеенность» было бы точнее. Опираясь на это свойство идеальных проводников (его можно выявить и на основе точных уравнений физики), удастся просто и наглядно расшифровать по движению вещества характер магнитного поля в нем и, наоборот, по виду силовых линий магнитного поля в жидком проводнике сказать, каким будет движение этого проводника.

Концепция Данжи и есть такая расшифровка явлений в околоземном пространстве.

Рецепт расшифровки несложен. Но это простота использования. Просто включить домашний холодильник, но так ли уж многие из включающих знают принцип его устройства? Вертит человек в руках кубик Рубика. Сделать его грани одноцветными — это одна задача, задача использования; сообразить, как он устроен, — другая; придумать такое — третья. Степень сложности разная. Мы скажем здесь об идейных корнях концепции Данжи. Они касаются одной из самых серьезных философских проблем современной физики — проблемы дуализма полей и частиц. Здесь ясности я обещать не могу. Но, остановившись на этом, мы вернемся потом к нашей «ясной» проблеме использования — расшифровке.

В 1873 году вышел в свет знаменитый труд Дж. Максвелла «Трактат по электричеству и магнетизму». Он обобщал все известные факты электродинамики: Наблюдения заряженных тел, токов, соображения о реальности электрических и магнитных полей, их изменения в пространстве и во времени — все это огромное и разнообразное Нечто свелось в Ничто — несколько простых по форме математических уравнений. Исследование этих уравнений открывало незамеченные еще свойства реальных явлений.

Из уравнений Максвелла следует, что в магнитном поле есть внутренние натяжения: его силовые линии ведут себя подобно натянутым резиновым нитям, они стремятся уменьшить свою длину, а пучок их — стать толще, расправиться. Правда, у пучка резинок есть какая-то естественная для него длина и толщина, у пучка магнитных силовых линий этого нет: он всегда стремится уменьшить свою длину и увеличить толщину. Если же магнитное поле не меняется со временем, то это потому только, что его силовые линии не дают друг другу вести себя, «как им хочется».

Наличие такой проблемы — дуализма полей и частиц — видно уже вот откуда. В школе всем показывали опыт: на два проводника с токами, текущими в одну сторону, действует сила, сближающая их. Если мы обратим внимание на магнитные поля, окружающие эту пару токов, то заметим, что при сближении проводников поле между ними становится слабее, а поле снаружи от них — сильнее. Так отчего сближаются проводники? Токи — движущиеся частицы — притягиваются или наружное магнитное поле, стремясь расправить пучки своих силовых линий (мы помним, что силовые линии надо проводить тем гуще, чем сильнее поле), сближает проводники? Желаящие могут специально поломать голову над этим или обратиться к литературе по философии физики. Для нас же сейчас важно, что результат — сближение проводников, как его ни понимай, — оказывается всегда одним и тем же и совпадает с показанным нам в школе опытом.

Итак, силовые линии расталкиваются, когда их «слишком много», и стараются сократиться.

Мы уже говорили, что в идеально проводящей плазме магнитные силовые линии «вморожены» в вещество. Очевидно, об этом же самом свойстве можно сказать

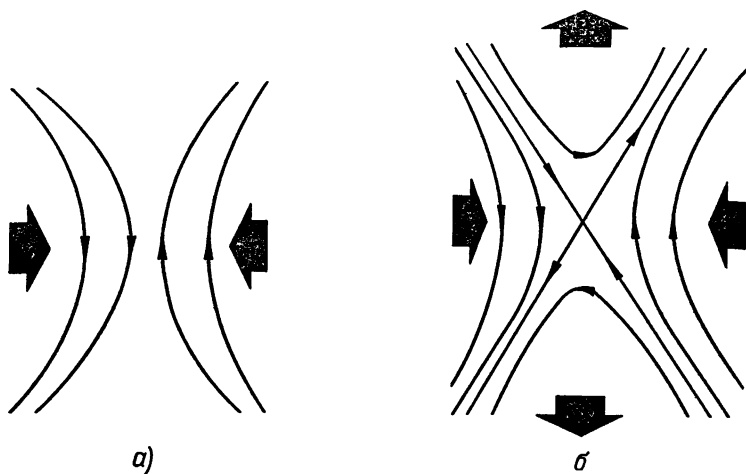


Рис. 4. Пересоединение противоположно направленных магнитных силовых линий:
 а — пересоединение не началось,
 б — пересоединение происходит

и так: вещество приклеено к силовым линиям магнитного поля. Еще мы говорили, что силовая линия всегда, когда есть возможность, стремится сократить свою длину. Вместе эти два утверждения означают, что в ситуациях, когда «вмороженная» силовая линия магнитного поля может сокращаться, она заставит вещество двигаться подобно стреле, которую толкает только что спущенная тетива лука.

Но мы уже отмечали, что абсолютная «вмороженность» силовых линий — это свойство идеальных проводников, реальные проводники если и похожи на идеальные, то лишь приближенно: силовые линии в них не наглухо скреплены с веществом. Такой реальный хороший проводник в общем движется вместе с силовыми линиями, но силовые линии постепенно смещаются относительно вещества.

Можно представить себе случай, когда, как в жизни, идеальность и слабая неидеальность работают друг на друга.

Тогда можно ожидать чудес.

Итак, раз!

Благодаря идеальности силовые линии движутся вмес-

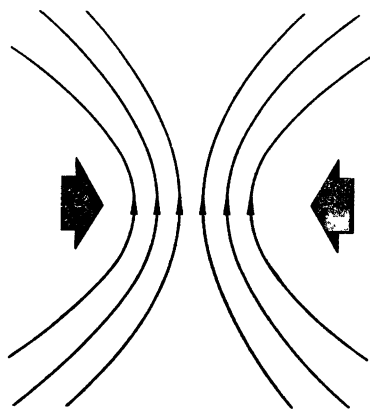


Рис. 5. Соприкосновение семейств одинаково направленных магнитных силовых линий. Пересоединение невозможно

те с веществом, и может случиться так, что в некоторой области соприкоснутся семейства противоположно направленных силовых линий (рис. 4, а). Образовать, например, что-то вроде рукописной буквы *X* из магнитных силовых линий (в физике эта область соприкосновения так и называется: «точка икс»). Допустим, левая часть этой буквы — силовая линия, направленная вверх, правая — вниз, а сама буква — высокая и узкая.

Два!

Поскольку силовые линии неидеальны, они могут пересоединиться: объединятся между собой «куски» силовых линий, составляющих верхнюю часть буквы *X*, и отдельно «куски», составляющие ее нижнюю часть (рис. 4, б). Согласитесь, что для этого немного нужно: изменения могут даже не затрагивать весь поток, достаточно лишь, если в «тали» буквы *X* линии слегка сдвинутся относительно вещества. Теперь верхняя и нижняя половины буквы *X* будут как две оттянутые тетивы луков.

Три!

Линии-тетивы стремятся сократиться и (снова благодаря идеальности) выбросить плазму вверх и вниз. Когда это произойдет, мы получим дополнительный, обусловленный энергией магнитного поля, поток вещества из *X*-точки.

Вот и все чудо.

То, что оно состоялось, видно из контрольной ситуации: возникло положение «раз», но левая и правая половины *X* теперь образованы одинаково направленными

силовыми линиями. Допустим, обе линии направлены вверх (рис. 5). Верхняя и нижняя половины X теперь состоят из противоположно направленных кусков силовых линий, и никакая неидеальность не поможет противоположно направленным кускам стать одной силовой линией: вдоль силовой линии магнитное поле всегда направлено в одну сторону. Обязательно! Так что к пункту «два» в этом случае перейти нельзя.

Мы получаем четкое «правило отбора» ситуаций: если сблизилась в потоке или как-нибудь еще семейства противоположно направленных линий, допустимо возникновение «тетивы» и появление дополнительного выброса вещества из X -точки, если линии одинакового направления — ничего особенного не произойдет, пересоединение «запрещено».

Чтобы сработал пункт «два», необходимо нарушение «вмороженности» силовых линий: как в примере с клеестером — нельзя считать нити вклеенными, когда их разрезают и перевязывают по-другому. Как обеспечить выполнение пункта «два»? Исследователи видят разные пути. Одни представляют себе дело таким образом, что вблизи точки X подключается некоторый процесс (например, возникает неустойчивость), благодаря которому плазма вблизи самой X -точки теряет свою идеальность. Другие исходят из изначальной неидеальности потока и стараются выявить такие сближающие потоки, чтобы эта изначальная неидеальность нужным образом проявила себя в области сближения. Конкретные представления о пересоединении разнообразны, как поэтические вариации на тему «соловей и роза». Но тема одна: это «раз — два — три».

Астрофизики, интересуясь движением космической плазмы, обсуждали возможности и последствия пересоединения магнитных силовых линий еще до появления гипотезы Данжи. И вот что замечательно. Все сказанное здесь об X -точках — не упрощенный показ результатов строгого анализа и убедительных расчетов. Несколько приведенных здесь наглядных соображений об X -точках — это практически все, чем располагал Данжи. И располагают сейчас его последователи. И можете рассчитывать вы, читатель, если захотите расшифровать многообразие космических явлений. Проведем же такую расшифровку вместе.

Данжи предположил, что силовые линии собствен-

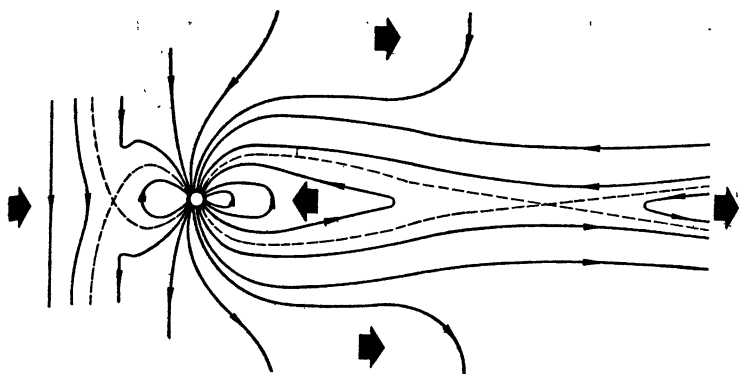


Рис. 6. Круговорот вещества в магнитосфере Земли (широкие стрелки указывают направление движения) и пересоединение силовых линий в дневной и ночной X-точках по гипотезе Данжи

ного дипольного магнитного поля Земли, того поля, что создано глубинными токами внутри нашей планеты, пересоединяются в космосе с теми силовыми линиями, которые приносят с собой к Земле хороший проводник — плазма солнечного ветра. С этих пор название «X-точка», отражающее всего лишь вид магнитного поля вблизи нее, вполне можно считать символическим: это то неизвестное, о котором космофизики ведут самые напряженные споры.

Во времена, когда вышла работа Данжи, знания о ближнем космосе были скудны. Знали, что есть радиационные пояса. Советские космические зонды, запущенные в 1959—1961 годах, обнаружили потоки плазмы от Солнца.

Но не было ясно, эпизодическое это явление или постоянно существующий солнечный ветер.

Гипотеза Данжи уверенно предсказывала еще не открытые черты околоземного пространства.

Хвост магнитосферы. Согласно Данжи, у магнитосферы должен существовать очень длинный хвост. Действительно, если на Землю набежит поток солнечной плазмы — солнечный ветер, то магнитное поле, которое он несет с собой, приходит в соприкосновение с магнитным полем токов, текущих в глубине ее, — с дипольным магнитным полем. Временами должны образовываться

Х-точки, в которых допустимо пересоединение силовых линий соприкасающихся полей. Получившиеся при пересоединении силовые линии одним «концом» уходят в Землю, другим — в солнечный ветер. Поток солнечного ветра относит проходящую по нему часть силовой линии далеко в противосолнечную, ночную сторону Земли (рис. 6). Пересоединению должны подвергнуться в первую очередь периферийные магнитные силовые линии дипольного поля, пересекающие поверхность планеты вблизи магнитного полюса, высокоширотные. Две пряди таких линий из Южного и Северного полушарий тянутся далеко в межпланетное пространство. Это и есть хвост магнитосферы.

Как мы видели раньше, вытянутость магнитосферы в ночную сторону можно понять и без привлечения гипотезы Данжи, просто как след в потоке за обтекаемым препятствием. Однако объяснить «невероятную» длину этой вытянутости — хвоста — без обращения к гипотезе Данжи современная наука не может.

Хвост магнитосферы — явление уникальное: это самый длинный след за препятствием в потоке из числа известных науке (необыкновенно велико отношение его длины к размерам головной части). Причем речь идет о длине хвоста, известной на сегодняшний день; какая она на самом деле, мы пока не знаем, так далеко еще не залетали космические корабли.

(Иногда необычную вытянутость хвоста магнитосферы объясняют существованием поперек него электрического тока: известно, что между противоположно направленными семействами магнитных силовых линий всегда течет ток, в данном случае два таких семейства представляют собой «пряди» Северного и Южного полушарий. Но это все равно, что объяснять существование курицы существованием яйца. Мы имеем здесь дело с отражением все того же дуализма полей и частиц — магнитного поля и частиц, носителей тока. И вопрос о длине хвоста — двух прядей силовых линий магнитного поля — заменяется вопросом о необыкновенной длине слоя с током между ними.)

Круговорот вещества в околоземном пространстве. Из гипотезы Данжи следует также, что в магнитосфере должен идти постоянный круговорот вещества, при котором с ночной стороны плазма движется на дневную и обратно. В самом деле, если бы только шло пересоеди-

нение на дневной стороне магнитосферы, то число хвостовых силовых линий все время увеличивалось бы, а дипольных — уменьшалось. Такого постоянного увеличения — уменьшения не наблюдается. Данжи объяснил это тем, что в хвосте магнитосферы, вблизи плоскости экватора (то есть там, где соприкасаются противоположно направленные хвостовые линии из Южного и Северного полушарий), могут также образовываться X-точки, в которых идет пересоединение (см. рис. 6). При этом со стороны Земли появляются «замкнутые», уходящие обоими «концами» внутрь планеты силовые линии, они похожи на дипольные, только более вытянуты. Однако этот вид сохраняется недолго: силовые линии сокращаются, как резинки, и вытянутость исчезает.

Обратим внимание на концы силовых линий, которые пересекают поверхность Земли. Если бы не было слоя нейтральной атмосферы, то силовая линия из магнитосферной плазмы прямо переходила бы в Землю. А поверхность Земли — достаточно хороший проводник, и к ней можно отнести все наши рассуждения о «вмороженности» силовых линий. Так что без атмосферы «земной конец» силовой линии был бы «вморожен» в твердую Землю и двигаться бы не мог. Присутствие плохого проводника, атмосферы, разбивает эту связанность, и магнитосферный участок силовой линии может двигаться, так сказать, сам по себе. Другими словами, плазма, находящаяся на нем, не ощущает присутствия проводящей Земли. Если мы проследим за его «подножием», местом, где силовая линия выходит из нейтральной атмосферы в Южном полушарии или входит в нее в Северном, то увидим, что оно движется по небосводу. Сначала, когда силовая линия пересоединилась на дневной стороне с линией межпланетного магнитного поля, это подножие начинает «отплывать» в ночную сторону Земли, поскольку вся силовая линия с находящейся на ней магнитосферной плазмой сносится потоком ветра в противосолнечную, ночную, сторону. Там силовая линия пересоединяется снова, уже в хвостовой X-точке, и подножие вместе со всем магнитосферным участком силовой линии идет назад, на дневную сторону: ведь из ночной, хвостовой X-точки будут поступать новые «замкнутые», похожие на дипольные силовые линии, которых там накопилось «слишком много» — столько, что пучки их, стремясь расшириться, вызывают движение силовых линий и

«примороженного» к ним вещества туда, где таких линий в «недостатке», то есть на дневную сторону. На дневной стороне магнитосферы наша силовая линия рано или поздно пересоединится с магнитным полем солнечного ветра, и все повторится снова.

Впоследствии этот круговорот вещества в магнитосфере был обнаружен и получил название магнитосферной конвекции плазмы. Это «вечное движение» — примечательная черта околоземного пространства, и мы увидим далее, что с ним связаны многие интересные явления.

Правда, для объяснения этого круговорота можно и не обращаться к гипотезе Данжи. Представим себе, как мы уже делали, магнитосферу просто полостью в потоке солнечного ветра, обтекающего препятствие — Землю с ее собственным магнитным полем. Предположим, что солнечный ветер увлекает соприкасающуюся с ним разреженную плазму наружных областей магнитосферы благодаря действию на границе некоторых гипотетических сил вязкости. Скапливающаяся на ночной стороне магнитосферы плазма будет возвращаться по внутренним областям магнитосферы снова на дневную сторону. Силовые линии магнитного поля во всей магнитосфере остаются при этом похожими на дипольные (в том отношении, что все они уходят под поверхность Земли). Этот механизм конвекции был предложен Аксфордом и Хайнсом немного раньше, чем Данжи предложил свой вариант объяснения конвекции. В космофизике представления о магнитосфере называют моделями. О модели, использованной Аксфордом и Хайнсом, обычно говорят как о закрытой. Этим подчеркивают отсутствие в ней открытых силовых линий, уходящих одним концом в Землю, а другим — в солнечный ветер. Напротив, модель Данжи называют открытой. В современной космофизике в работе находятся обе модели магнитосферы и обе считаются классическими.

Интересно, что лабораторные эксперименты, которые проводит на современной террелле московский физик И. М. Подгорный с сотрудниками, говорят о том, что плазма искусственной магнитосферы взаимодействует с лабораторным «солнечным ветром» одновременно и по типу Аксфорда — Хайнса через вязкие гипотетические (потому что их природа не выяснена) силы и через магнитные поля по типу Данжи.

Стягивание аврорального овала к магнитному полюсу.

Можно ожидать, что такой важный момент в «жизни» силовой линии, как пересоединение, должен как-то по-особому отразиться на свойствах плазмы, находящейся на ней. Действительно, границе хвостовых и дипольных линий соответствует, как мы уже знаем, авроральный овал.

Все содержимое овала — в обычном состоянии это разные пятна, обрывки дуг как спокойные, так и играющие лучами и т. п. — движется с ночной стороны аврорального овала на дневную двумя руслами: по утренней и вечерней сторонам овала. Неоднородности исчезают, меняются по дороге — словом, ведут себя, как пена в реке. Поток их изменчив и сложен, но если проследить за ним, можно установить его общее направление (длинные узкие дуги обычно вытянуты вдоль линий потока). Он доходит до обращенной к Солнцу части овала, потом, уменьшив свое свечение, выходит за его полярную границу, в район, очерчиваемый авроральным овалом (в так называемую полярную шапку). По полярной шапке поток доходит до ночной части овала и входит в него, чтобы двигаться по нему снова в сторону Солнца. Это движение отдельных форм сияний отражает круговорот вещества в магнитосфере.

И вся система сияний то стягивается к магнитному полюсу, то отходит от него. Полярная шапка становится то меньше, то больше.

Почему привычные к сияниям северяне не видят их в одни и те же часы на одном и том же месте? Иногда, растягиваясь, овал «заезжает» в средние широты. Чему обязаны жители этих широт редким для них зрелищем? Что управляет такими движениями овала?

Теперь уже установлено, что отвечает за них магнитное поле, «вмороженное» в плазму солнечного ветра, — межпланетное магнитное поле. Точнее, не все поле, а лишь одна его характеристика — составляющая вектора его напряженности, перпендикулярная плоскости магнитного экватора Земли. Тот факт, что от этой тонкой характеристики (к тому же переменчивой и пока непредсказуемой) так сильно зависит состояние земной магнитосферы, казался бы совершенно удивительным, если бы он не был уже теоретически предсказан Данжи. Космофизики считают это предсказание поразительным. Посмотрим, как это получается.

Вспомним, что говорилось об X-точке: пересоединение в ней может идти, когда силовые линии, ее образующие, имеют противоположные направления, и «запрещено», когда они направлены одинаково. Силовые линии дипольного магнитного поля Земли встречают поток солнечного ветра своей наиболее удаленной от Земли, экваториальной, частью. Они тянутся от Южного полушария к Северному и в месте встречи с солнечным ветром направлены с юга на север (см. рис. 6). Значит, по Данжи, пересоединение возможно лишь в те моменты, когда поток солнечного ветра приносит с собой магнитные силовые линии противоположного направления — с севера на юг. Отсюда важность межпланетного магнитного поля южного направления.

Специалисты часто говорят о важности южной составляющей межпланетного магнитного поля. Действительно, взглянув с более широкой точки зрения, легко представить себе пересоединение соприкасающихся семейств скрещенных силовых линий. Очевидно, отянутость «тетивы», получившейся при таком пересоединении, зависит от угла между соприкасающимися силовыми линиями: когда в X-точке силовые линии направлены противоположно, сила натяжения «тетивы» наибольшая; когда направлены в одну сторону, она нулевая; при других углах между линиями она имеет промежуточные значения.

Чем больше напряженность магнитного поля, которую характеризуют густотой силовых линий, тем больше должно образовываться «изломанных», пересоединенных линий. Поэтому чем больше величина южной составляющей магнитного поля в солнечном ветре, тем эффективнее, заметнее пересоединение, тем больше силовых линий становится хвостовыми, тем больше полярная шапка и тем дальше отъезжает авроральный овал от полюса, сползая в низкие широты.

Напрашивается вопрос: не было ли связано зарево, встревожившее Древний Рим, с таким расширением овала? Точный ответ дать нельзя. Авроральный овал был обнаружен лишь в 60-х годах нашего столетия, и за время его наблюдений не случилось, чтобы он уходил в такие низкие широты. Но в средних и низких широтах бывают сияния другой природы, связанные с высыпанием в атмосферу частиц из внутренних, близких к Земле районов магнитосферы (из плазмосферы). Эти сияния крайне ред-

ки, поэтому они остаются плохо изученными по сравнению с сияниями аврорального овала, которые горят всегда.

Обратный вопрос: может ли авроральный овал так близко подойти к магнитному полюсу, что стянется в точку? Такого тоже никто не видел. По наблюдениям, он достигает некоторого предельного размера и меньше уже никогда не бывает. Впрочем, крайне сжатым овал бывает нечасто, и свойства магнитосферы при таком состоянии овала пока еще плохо выявлены.

Нет необходимости перечислять другие важные следствия из гипотезы Данжи, объясняющие реально наблюдаемые черты магнитосферы. Их много. Трудно даже назвать какую-либо космофизическую теорию, которая могла бы сравниться с этой гипотезой по количеству подтвердившихся выводов. Почему же все-таки ее продолжают называть гипотезой, концепцией, но не теорией?

Вернемся к тому месту, где мы впервые заговорили о пересоединении. Все ли там понятно? Пересоединение мы вообразили, но есть ли оно на самом деле? По сей день далеко не ясно, какой физический механизм может обеспечить достаточно быстрое пересоединение достаточно большого количества силовых линий, чтобы благодаря этому получился достаточно быстрый отток вещества из окрестности X -точки. Судить об этом можно, лишь зная числа, а числа остаются неизвестными.

От физической теории ждут описания явления не только с качественной, но и с количественной стороны. Физики проверяют себя числом. Даже очень грубое его определение полезно, хотя бы как взгляд на неизвестную картину через плохо подобранные очки: можно потерять детали, можно что-то перепутать, но все-таки исключается случай, что мы видим существенное там, где вообще ничего нет. Поэтому теории более частные, отрывочные, но дающие в итоге некоторую численную оценку, нередко рассматриваются как вполне конкурентоспособные по отношению к «широкоохватным», но качественным гипотезам вроде концепции Данжи. Хорошо это или плохо — другой вопрос, философский.

А что говорят наблюдения? Если интересоваться глобальными чертами магнитосферы, то, как мы уже видели, с их описанием концепция Данжи прекрасно справляется. Обратимся теперь к самой X -точке. Соответствует ли то, что там происходит, идее пересоединения?

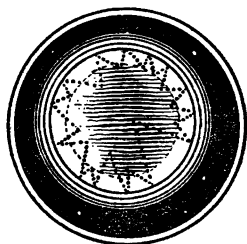
Космические аппараты предоставили науке замеча-

тельную возможность вести измерения непосредственно в космосе. Приборы подробно информируют исследователя о состоянии той точки космического пространства, где находится корабль, в тот момент, когда он там находится. Это позволило выявить очертания магнитосферы, распределение электрического и магнитного поля в ней, общий характер движения заполняющих магнитосферу частиц. Но изучение изменений, происходящих в магнитосфере, — несравненно более трудная задача.

Представим себе, что человеку часто приходится пересекать в разных направлениях какой-нибудь лесок. Довольно скоро он станет представлять себе его очертания, несмотря на то что из-за деревьев, как известно, леса не видно. Но вот человеку, многократно пересекающему стадион во время репетиции массового выступления спортсменов на празднике, намного труднее понять, какие фигуры будет видеть на поле стадиона зритель, сидящий на трибуне. Даже если потом этот человек во время праздника все увидит своими глазами, ему трудно будет уловить, какие именно моменты перестроения участников он наблюдал, двигаясь среди них.

Недавно были проведены спутниковые наблюдения в области предполагаемой X -точки на дневной стороне магнитосферы. Оказалось, что состояние частиц плазмы в самой этой области не так уж сильно зависит от межпланетного магнитного поля. Означает ли это, что пересоединение не происходит вовсе и качественные выводы Данжи лишь случайно совпадают с опытом, или мы просто не улавливаем общую картину пересоединения, когда следим за поведением частиц вдоль траектории космического аппарата (этого «микроприбора» по отношению к глобальной картине ближнего космоса), — это покажет будущее. Острая полемика ведется и по поводу спутниковых наблюдений в области, где должна находиться ночная X -точка.

Итак, Данжи, не углубляясь в проблему воздействия потоков солнечного вещества на магнитосферу, предположил, что она решена, и пошел дальше. Это позволило ему блестяще объяснить строение околоземного пространства и изменения в нем. Он не распутал гордиев узел современной космофизики — явления в X -точке, он решительно разрубил его. Но проблема, которую Данжи обобщил, настолько важна, что разобраться с X -точкой необходимо. Гордиев узел еще предстоит распутать.



Природа наделена гораздо более
богатым воображением, чем мы.

Е. Паркер. Космические магнитные поля

Аудитория физфака МГУ. В глубине амфитеатра — длинный массивный стол, за ним — две доски во всю стену. Если нажать кнопку, полотно доски с шуршанием уходит вверх, поднимая только что написанные формулы и открывая место для новых.

Высокий плотный человек расхаживает там, внизу, читая нам, студентам, лекцию. Подняв в очередной раз глаза от конспекта, я вдруг понимаю, что он исчез. Легкий шок. Аудитория еще наполнена его голосом, сверху прекрасно обозревается место, где он должен быть и где теперь его нет. Знакомый голос:

— Вы меня слышите?

Я растерянно, вместе со всеми:

— Слышим...

— А видите?

— Нет!

Бог ты мой! Его голова показывается над столом, и он с торжеством заканчивает:

— А все потому, что световая волна короче звуковой!

Где же он там мог спрятаться? Как-то неуловимо быстро все возвращается на свои места, крупная фигура профессора снова стоит во весь рост, лекция продолжается:

— Стол не был препятствием для звуковой, более длинной, волны и оказался препятствием для световой, более короткой. Вообще волны взаимодействуют лишь

с теми объектами, размеры которых сравнимы с длиной волны или превышают ее...

Столько лет прошло, а вот ощущаешь какую-то неловкость, рассказывая об этом эпизоде, словно выставляешь напоказ рабочий момент нашей «внутрицеховой» жизни, когда о впечатлении, которое ты можешь произвести на людей посторонних, не думаешь, потому что нет их, посторонних. Мы чувствовали, что собрались вместе делать одно дело. Это ощущение создавал профессор. Он читал истово, непосредственно, как работают одаренные по-настоящему художники.

Недавно я видела, как в большом московском книжном магазине люди деловито раскупали его книгу — вузовский учебник по очередному разделу физики... Впрочем, все это — лирика. Физика здесь — лишь утверждение: волны взаимодействуют только с теми объектами, размеры которых сравнимы с длиной волны или превышают ее.

К XX веку это было хорошо известно ученым. Мягко говоря, безнадежной казалась им затея молодого итальянского инженера Гульельмо Маркони установить радиосвязь через Атлантический океан. Передатчик в Англии, приемное устройство далеко за горизонтом, в Северной Америке. Стоит сопоставить ширину океана, радиус Земли и длину волны, которую может послать передатчик, как вся нелепость предприятия выступает наружу. Выпуклость Земли — непреодолимое препятствие для этих волн. Ученые не скрывали своего мнения и всячески пытались урезонить энтузиаста.

Маркони же, не обращая внимания на резонные возражения и советы, деятельно готовился к эксперименту. Во время своих опытов по еще недалекой радиосвязи ему удавалось добиваться распространения радиоволн на все большие расстояния, и он предположил, что с чувствительным приемником и достаточно мощным передатчиком можно попытаться передать сигнал через океан.

Как известно, в 1901 году его дерзость увенчалась полнейшим успехом: и выпуклость земного шара не помешала, и величина сигнала, принятого в Америке, оказалась неожиданно большой. Специалистам пришлось срочно искать объяснение этому чуду.

Появилась гипотеза, что над планетой существует отражатель радиоволн, проводящее «зеркало», отправляющее радиоволны туда, за горизонт. Мы называем те

перь такой электропроводящий слой, сильно влияющий на распространение радиоволн, ионосферой. Уже через год после эксперимента Маркони американский инженер-электрик А. Кеннели и английский физик О. Хевисайд предположили его существование.

Мало сказать, что гипотеза эта была встречена недоверчиво. Известно, что авторитетный научный журнал «Электричество» в то время не принял к печати статью на эту тему, объявив саму идею существования ионосферы вздорной. «Иногда достаточно обругать человека, чтобы не быть им обманутым!» — так считал, видимо, не один наш Козьма Прутков.

Впрочем, гипотеза о наличии в атмосфере проводящего слоя высказывалась и раньше. Ее содержала вышедшая в 1882 году работа шотландского физика и метеоролога В. Стюарта. Автор ее пришел к выводу, что электрические токи, текущие в этом слое, могут отвечать за магнитные возмущения на поверхности Земли. Время подтвердило это предположение: мы теперь знаем, что многие возмущения магнитного поля действительно связаны с ионосферными токами. Заметим, что появление работы Стюарта совпало с проведением в 1882—1883 годах Первого Международного полярного года, столетие которого только что отмечалось, — действительно первой попытки согласованных геофизических наблюдений, выполненных учеными разных стран на широкой сети наблюдательных станций. Вряд ли это было совпадением: Полярный год привлек внимание исследователей к проблемам геофизики.

«Идея была. А веры ей не было, — пишет о гипотезе существования ионосферы советский геофизик Э. С. Казимировский в своей научно-популярной книге «Волшебное зеркало планеты». — Новые представления, тем более столь радикально меняющие наши взгляды на проблему, далеко не сразу становятся общепринятыми. Долгое время предположения о наличии в верхней атмосфере электропроводящего слоя, способного отражать радиоволны, считались недоказанными».

Несмотря на замечательный успех эксперимента Маркони, к выпуклости Земли по-прежнему относились как к непреодолимому препятствию для радиоволн. Ретроспективно это выглядит довольно комично. Стремясь установить дальнюю радиосвязь, старались использовать длинные волны, ибо, как мы знаем, волны взаимо-

действуют лишь с теми объектами, размеры которых сравнимы с длиной волны или превышают ее, и длинным волнам легче преодолеть препятствие — выпуклость Земли. Но связь на длинных волнах оказывается очень дорогой: по законам радиотехники длинную волну излучает длинная антенна, поэтому приходилось строить огромные антенные системы и мощные передатчики, занимающие целые здания и потребляющие очень много энергии. Это вполне могло служить декорацией к фильмам о торжестве науки и техники — масштабы впечатляют, но толку от всего этого было мало.

Есть еще один диапазон волн — короткие. Но ими пренебрегали именно потому, что, используя их, не было надежды преодолеть выпуклость Земли. Кроме того, распространяясь вдоль земной поверхности, короткие волны затухают быстрее длинных: чем радиоволна короче, тем больше она тратит энергии, создавая электрические токи в толще Земли. Казимировский рассказывает: «На короткие волны серьезные связисты сначала и внимания-то не обращали. Этот диапазон оставили для развлечения радиолюбителей, которые сами строили маломощные радиостанции с небольшими антеннами (волны-то короткие!) и устанавливали радиосвязь друг с другом».

По его словам, в отношении специалистов к гипотезе существования радиозеркала, ионосферы, «коренной перелом наступил тогда, когда стало известно, что коротковолновики-радиолюбители бьют все рекорды дальней связи... Уже в 1922 году радиолюбители установили уверенную двустороннюю связь между Европой и Америкой. Специалисты были потрясены. Самодельные маломощные передатчики оказались более дальнедействующими, чем длинноволновые правительственные радиостанции, обладавшие большой мощностью и крупногабаритными антеннами, мачтами и башнями».

Вскоре служебные радиостанции стали регулярно применять короткие волны для дальней связи. А в 1925 году ионосфера, «волшебное зеркало планеты», была открыта экспериментально. Группа английских радиофизиков в одной из лабораторий Кембриджского университета сконструировала приемные антенны, которые не только принимали сигналы удаленных радиостанций, но и можно было с их помощью определить направление прихода радиоволн. Передатчик был расположен на севере Англии,

а приемник — на юге. Расстояние между ними было около 400 километров. Когда посмотрели, откуда приходит к приемнику радиосигнал, то оказалось, волна принимается не с севера, а сверху! 1925 год стал «годом рождения» ионосферы.

Ионосфера — это промежуточный слой между плазмой магнитосферы и нейтральной атмосферой Земли, в котором свободные заряженные частицы, обеспечивающие перенос заряда, электрический ток, перемешаны с нейтральными. Советский специалист в области распространения радиоволн А. Н. Шукин писал: «Можно сказать без преувеличения, что не будь отражения и преломления радиоволн в верхних слоях атмосферы, роль радио как средства связи сократилась бы на 90—95 процентов». Так что нашим привычным радио мы обязаны космосу.

Знать детально состояние «радиозеркальной оболочки» Земли было бы очень полезно. Если бы умели уверенно расшифровывать ее свойства, мы могли бы полнее эти свойства использовать. Замечено, например, что радиоволны после отражения от ионосферы и затем от какого-либо предмета могут вернуться по своему пути обратно, к тому месту, откуда они вышли. Значит, в принципе можно видеть то, что делается за горизонтом — на расстояниях до нескольких тысяч километров. Для сравнения заметим, что обычный радиолокатор, работающий в режиме «прямого зрения», обнаруживает самолет, летящий на высоте 10 тысяч метров, с расстояния до 400 километров. При высоте полета 100 метров еще ближе — с расстояния 50 километров.

Но задача точного описания отражающего действия ионосферы далеко не простая. Существуют целые институты, в названия которых вынесены слова «ионосфера и распространение радиоволн». Приложили усилия к исследованиям этой проблемы физики А. Зоммерфельд и В. А. Фок, внес свой вклад в нее, еще будучи аспирантом МГУ, и Р. В. Хохлов.

Для нас ионосфера — продолжение космоса. Создается она действием космических факторов на верхние слои земной атмосферы. Уже не раз мы говорили, что волны взаимодействуют лишь с теми объектами, размеры которых сравнимы с длиной волны или превышают ее. Коротковолновое — ультрафиолетовое и рентгеновское — излучение Солнца сильно действует на нейтральные частицы атмосферы, приводя к возникновению всякого

рода обломков: молекулы разбиваются на атомы, появляются свободные электроны и разные ионы. К тому же частицы, усваивая «лишнюю» энергию, становятся возбужденными, способными испускать порции (кванты) электромагнитных волн, светиться. Нам нет надобности обсуждать в подробностях эти квантовомеханические процессы, благодаря которым ионосфера запасает энергию. Пусть лишь прозвучит «за кадром» старая песенка московских студентов-физиков:

А энергия лишь квантом излучается,
И лишь квантами обратно поглощается.
И, с одной орбиты сбитый,
На другую вмиг орбиту
Электрон всегда скачком перемещается!

В ней все правильно.

Когда обломки, встречаясь между собой, восстанавливают свою целостность или когда возбужденная частица превращается в невозбужденную, запасенная ранее энергия излучается в виде световых квантов. Поэтому верхние слои атмосферы, принимающие на себя основной удар коротковолнового излучения Солнца, светятся по-особому, не так, как ее нижние слои.

Днем это собственное свечение верхней атмосферы забивается ярким солнечным светом, рассеянным нейтральными частицами атмосферы. Но запасенная в ионосфере энергия освобождается и ночью. Поэтому в ясную безлунную ночь небосвод, если наблюдать его с Земли, имеет примерно в два раза большую яркость, чем можно ожидать при учете лишь одного света звезд.

Это слабое свечение ночного неба — прямая родня полярному сиянию, в обоих случаях светится одна и та же среда. Только энергия для свечения черпается из разных источников: это либо запасенная ионосферой энергия электромагнитного излучения Солнца, либо (в случае полярных сияний) энергия частиц, приходящих из магнитосферы и бомбардирующих верхние слои атмосферы. Впрочем, выпадающие из магнитосферы частицы вносят свой вклад и в общее свечение ночного неба, только выпадания слабые и свечение слабое. Частицы верхних слоев атмосферы получают энергию и при сгорании попавших в нее мелких метеоритов. Кончается тем же: возвращаясь в нормальное состояние, частицы испускают кванты света различной окраски — различных длин волн.

Этим свечением верхние слои атмосферы как бы сообщают о себе, о своем химическом составе, о возбуждениях свечения и о многом другом. Так, почти 100 лет назад физики обнаружили в спектре ночного свечения неба яркую зеленую линию. В земных лабораториях такого не наблюдалось. Предположили, что в атмосфере Земли имеется неизвестный газ, дали ему название «геокороний». Но потом оказалось, что эту линию излучают атомы кислорода, не связанные в молекулы. Этот атомарный кислород существует лишь на высотах 100 километров и выше, у нас же, на дне «воздушного океана», атомы кислорода всегда объединены в молекулы газа кислорода по двое.

Воздух ниже высоты 100 километров хорошо перемешан и по составу практически не отличается от приземного (мы отвлекаемся от различия примесей, которое позволяет говорить о слое озона, обсуждать, где находятся пары воды и прочее), только плотность его быстро спадает по мере удаления от Земли. На высоте 100 километров по понятиям земной физики — высокий вакуум, но по составу — это обычный воздух. Выше меняется и состав.

Эта высота, 100 километров, примечательна во многих отношениях. Мы видели, что примерно здесь находится нижняя граница полярных сияний. Свечение ночного неба говорит о том, что свободные электрические заряды в верхних слоях атмосферы есть и ночью. И действительно, особенности распространения радиоволн показывают, что отражающее электропроводное радиозеркало существует круглосуточно, оно окружает нашу планету со всех сторон. Причем электрическая проводимость атмосферы нарастает с высотой весьма показательно: она мала между поверхностью Земли и той же высотой — примерно 100 километров, выше резко увеличивается (днем она, естественно, намного больше, чем ночью, потому что в ионосфере больше «обломков», а значит, и свободных зарядов).

Можно сказать, что на этой 100-километровой высоте проходит граница земного и космического. Обращенная к Земле часть космоса, ионосфера, — последняя важная для нас деталь устройства космического телевизора, который показывает нам полярные сияния.

Все земные электронные или просто электротехнические устройства выполняют свои функции потому, что детали их имеют неодинаковое сопротивление: где надо —

поставлен проводник, где надо — изолятор. Проводящий слой, ионосфера, примыкает к магнитосфере и переходит в нее. Они обмениваются между собой электрическими зарядами (токами). Но физические свойства у них различны. Плазма магнитосферы разрежена и состоит в основном из свободных заряженных частиц. Плазма ионосферы гуще, плотность свободных носителей зарядов здесь намного больше, но эти свободные заряды представляют собой малую примесь к нейтральным частицам, с которыми им приходится сталкиваться при движении. Поэтому ионосфера и магнитосфера отличаются и электрическим сопротивлением. Не вдаваясь в подробности, проинформируем читателя, как работает эта «небесная электротехника».

Электропроводящие свойства наших проводников таковы, что при обмене зарядами между ионосферой и магнитосферой токи «предпочитают» течь вдоль силовых линий магнитного поля. В нижней ионосфере в отличие от верхней заряды перетекают также и поперек силовых линий, причем делают это тем легче, чем больше в ионосфере свободных заряженных частиц. Иначе говоря, с увеличением числа носителей зарядов в ионосфере падает ее сопротивление поперечному (по отношению к магнитным силовым линиям) току. С этим связан интересный эффект, когда космические проводники, ионосфера и магнитосфера, как бы сами себя выводят на режим короткого замыкания.

В лабораторных плазменных установках в тех областях, где по плазме течет достаточно сильный ток вдоль силовых линий магнитного поля (продольный ток), появляются частицы, намного более энергичные, чем частицы окружающей плазмы. И летят они также вдоль силовых линий магнитного поля.

Подножия магнитных силовых линий, проходящих по магнитосфере, находятся в ионосфере. Легко представить себе, что будет, если в магнитосферной плазме появится такой достаточно сильный продольный ток: в ионосферу посыпятся энергичные частицы. Разрушая нейтральные частицы ионосферы, они создадут в ней добавочные свободные заряды, и сопротивление ионосферному поперечному току упадет. Ситуация становится похожей на короткое замыкание. Из житейского опыта хорошо известно, что при этом происходит: резко увеличивается ток в подводящих проводах. В данном случае это про-



Рис. 7. Дуга полярного сияния в поперечном сечении (внизу) и токи над ней

дольные токи из ионосферы в магнитосферу и наоборот. Но с увеличением продольных токов создаются условия для усиленного высыпания в ионосферу энергичных частиц. Процесс таким образом развивается, и режим все больше напоминает короткое замыкание.

По-видимому, такой механизм участвует в создании спокойных дуг полярных сияний: и тех, что тянутся на тысячи километров, и тех, что покороче. Дело здесь не в их длине, а в том, что поперек дуги физические величины распределены знакомым нам образом: пара продольных токов, один течет из магнитосферы в ионосферу, другой — в обратном направлении (рис. 7); над дугой со спутников наблюдаются энергичные частицы — те, что вызывают свечение; в ионосфере увеличено количество свободных заряженных частиц в области свечения, то есть там, где энергичные частицы разбивают нейтральные. Вся эта система очень узкая и правильная, как сама дуга.

Но ясно, что такой процесс должен идти не только в области спокойных дуг полярных сияний. Мы говорим о дугах просто потому, что они лучше изучены: спокойные легче наблюдать и осмысливать. Для описанного здесь процесса важен дополнительный обстрел ионосферы энергичными частицами. Такие частицы появляются в магнитосфере во время возмущенных состояний космоса, о которых пойдет речь в следующей главе. Заметим еще, что есть идея вызвать подобный процесс путем искусственного (с помощью ракет) введения заряженных частиц в ионосферу — другими словами, уменьшая ее сопротивление поперечному току.



Что зыблет ясный ночью луч?
М. В. Ломоносов

Космос говорит о себе изменениями магнитного поля на поверхности Земли. За ними нетрудно следить, они легко измеряются, и наблюдения можно вести в автоматическом режиме.

При прочих равных условиях на магнитограф, конечно, сильнее всего действует ток, текущий на близком расстоянии. Самая близкая область космоса — ионосфера над нами. Однако ток над местом наблюдений — это только часть всей токовой цепи. Ток этот может замыкаться где угодно в заполненном плазмой космосе. Поэтому без специального исследования нельзя сказать, о каком именно космическом процессе информирует нас магнитометр.

К тому же его показания многое отражают. Например, ветры на ионосферных высотах: при смещениях проводника — ионосферной плазмы — поперек магнитного поля в проводнике возникает электродвижущая сила, а значит, появляются ионосферные и магнитосферные токи, магнитные поля которых воспринимаются земными приборами-магнитографами. По ассоциации с обычной динамо-машиной говорят, что такие магнитные возмущения вызваны действием «ионосферного динамо». Еще замечено, что включение крупных промышленных электрических сетей приводит к появлению ионосферных токов, которые отмечаются магнитометрами на Земле.

И все-таки по показаниям даже одного магнитометра можно сразу сказать, спокойно в космосе или нет. Если тихо, самописец вычерчивает плавную кривую, случилось одиночное возмущение — на кривой появляется либо от-

дельный выступ, либо характерные колебания, а если наступил период сплошных возмущений, самописец чертит зигзаг за зигзагом (см. рис. 8). Пока мы умеем распознавать в этих записях лишь самые «броские» события.

В своей чудесной сказке «Цветик-семицветик» В. Катаев написал о девочке, по волшебству и своему капризу попавшей на Северный полюс. Стоит она на льдине, а из воды лезут белые медведи. Семь штук, и все разные. Первый — нервный, второй — злой, третий — в берете, четвертый — потертый, пятый — помятый, шестой — рябой, седьмой — самый большой. Примерно так, не по единой системе, а просто по отдельным характерным признакам различают космофизики магнитные возмущения.

Представим себе, что в космосе совсем тихо. Точка, где находится магнитограф, вращаясь вместе с Землей, «выезжает» на ее освещенную сторону, над магнитной станцией, как говорят космофизики, начинается «местный день». Сильный солнечный свет падает теперь на ионосферу, в ней увеличивается число свободных заряженных частиц, сопротивление ее падает, и токи в ней усиливаются. Типичные ветры в ионосфере, создающие благодаря механизму ионосферного динамо «свои» токи в космосе, в дневное время не такие, как в ночное. Чувствует магнитограф и далекие магнитосферные токи, которые неодинаковы с дневной и с ночной стороны магнитосферы: вспомним, как несимметрично искажают они магнитное поле нашей планеты. Так что наш магнитограф конечно же должен отмечать своими показаниями наступление светлого времени суток. Земля вращается, как известно, весьма равномерно, поэтому изменения магнитного поля, связанные с ее вращением, изображаются плавной кривой. Такие спокойные изменения магнитного поля, более или менее одинаковые ото дня ко дню, называются вариациями *, в отличие от возмущений быстрых, иногда рваных зигзагов кривой магнитографа. Данные сети станций обобщают эти наблюдения: вариации магнитного поля сильнее там, где больше освещенность верхней атмосферы.

* Заметим для читателей, которым это, возможно, понадобится, что здесь речь идет об Sq-вариациях, их величина на экваторе достигает 100—200 нТ, а в средних широтах только 20 нТ. Т (тесла) — это единица магнитной индукции, н (нано) — это одна миллиардная доля исходной единицы, в данном случае тесла.

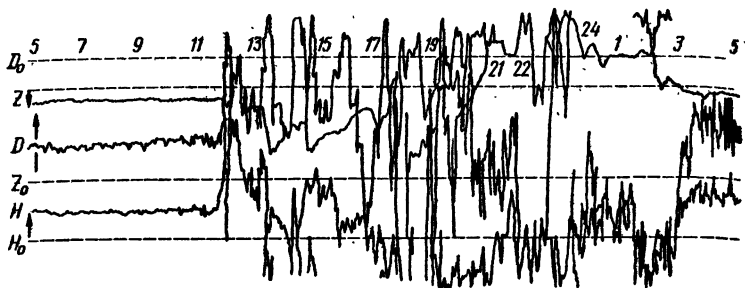


Рис. 8. Наступление магнитной бури, как оно выглядит на магнитограмме. По горизонтальной оси отложено время, по вертикальной — величины трех составляющих вектора магнитного поля

ры Солнцем — в летнем полушарии сильнее, чем в зимнем, в низких широтах — сильнее, чем в высоких.

В высоких широтах такие вариации практически неразличимы на фоне того, что обычно наблюдается под авроральным овалом. Здесь изменения магнитного поля имеют характер возмущений: «на позорях матка дурит», как мы помним, говорили в старину поморы, а законное место «пазорей» — авроральный овал. Простым глазом мы можем наблюдать здесь обычный круговорот космического вещества — магнитосферную конвекцию, когда разные светящиеся неоднородности движутся вечером примерно в западном направлении вдоль аврорального овала, а утром — в восточном. Мы знаем уже, что это часть общей картины движения авроральных форм по овалу с его ночной стороны на дневную и дальше через полярную шапку опять на ночную. Всему этому отвечает определенная система магнитных возмущений*, которая затрагивает и более низкие широты. Это неудивительно, когда на экране — полярном небе — нам «показывают полярные сияния», работают все «блоки» космического телевизора.

Но вот все светящееся содержимое аврорального овала двинулось в сторону экватора (для нас, жителей Северного полушария, к югу). В особенности это хорошо видно по четким длинным дугам, они все как целое плы-

* Это система DP²

вут на юг. Это значит, налетающий на магнитосферу поток солнечного ветра принес с собой магнитное поле с южной компонентой. И авроральный овал начал расширяться. Потом все может двинуться назад и вернуться на место или уйти к полюсу. Но если этого не произойдет, межпланетное магнитное поле останется таким же или его южная составляющая усилится, надо ждать красивейшего явления — тех самых цветных переливающихся сияний, которые в общем-то и запоминались путешественникам. Начнется «бесконечная фантазмагория искрящихся красок, превосходящая всякое воображение» (Нансен). Такие сияния случаются наиболее часто и бывают самыми сильными именно при расширенном овале.

Специалисты называют такую передачу из космоса суббурей. По словам известного советского космофизика Ю. И. Гальперина, вспышки сияний при суббуре «очень индивидуальны и больше напоминают поведение капризного живого существа, чем четкий и воспроизводимый физический процесс». Имея дело с капризным человеком, бывает полезно отвлечься от зигзагов его настроения и обращать внимание лишь на их размах или вообще стараться быть от него на расстоянии. Специалисты по суббурям пользуются похожими приемами.

Магнитографы при суббуре обычно вычерчивают характерную кривую, на магнитограмме появляются как бы очертания бухты на морском побережье (отсюда другое название суббури — бухта). Но бухты, записанные одновременно на разных станциях, сильно отличаются друг от друга, даже если станции эти близки. Чтобы не погрязнуть в этих различиях, оценивают силу магнитного возмущения в данный момент времени, принимая во внимание отклонения магнитного поля от нормы лишь на двух станциях: той, где магнитное поле сильнее всего увеличилось, и той, где в этот же момент оно сильнее всего уменьшилось. Этот подход — прямая противоположность способу оценки выступлений фигуристов на соревнованиях: там при подсчете баллов исключается самая высокая и самая низкая оценка, у геофизиков только они и используются*.

Другие исследователи предпочитают судить о суббуре по записям магнитных станций средних широт, здесь магнитографы тоже «слышат» ее (ведь работают все «бло-

* Так строится АЕ-индекс.

ки» включенного телевизора), но магнитное поле не меняется так «по-сумасшедшему», как в районе аврорального овала.

Можно отвлечься от капризов суббури, взглянув на нее с космической высоты. Для этого используют снимки аврорального овала, переданные со спутников. Однако спутники, изучающие полярные сияния таким образом, тратят на оборот вокруг Земли часа полтора, сама же суббуря продолжается всего час-два. Ясно, что следить за развитием одной суббури такой спутник не может. Но, во-первых, из подсмотренных эпизодов передачи на один и тот же сюжет можно составить о нем представление, а, во-вторых, можно подключить еще совокупный опыт наземных наблюдений.

Итак, вот сценарий суббури. Представим себе, что мы смотрим с высоты на нашу Землю и видим целиком ее полярный район. Сначала экран космического телевизора занимает испытательная таблица — авроральный овал в виде светящегося кольца. С высоты различаются самые яркие длинные дуги. Особенно отчетливы они в вечерне-предполуночном секторе. В этом секторе обычно и начинается суббуря. Переход от спокойного состояния овала к суббуре — как взрыв: он происходит в считанные минуты. С экваториальной стороны овала внезапно вспыхивает новая дуга или становится ярче какая-то часть уже существовавшей дуги. Вспыхнувшая область начинает расширяться в сторону полюса, вершина выпуклости движется со скоростью 500—600 метров в секунду. В это время на Земле магнитографы рывками выписывают свои бухты. Заметим, что с западной стороны образовавшейся выпуклости излом дуг особенно резок. Спустя 5—10 минут после вспышки этот излом начинает смещаться на запад со скоростью 0,5—5 километров в секунду. Через 10—30 минут от внезапного начала суббури светящаяся выпуклость останавливается. Все постепенно возвращается на свои места: клочья сияний в области выпуклости ослабевают, сияния вновь оказываются на более низких широтах, где они наблюдались до взрыва, затихают магнитные возмущения — бухты. Одиночная суббуря закончилась.

Чтобы наблюдать все это с Земли, должно повезти. Надо оказаться под самым овалом, в его вечерне-предполуночной части. Да к тому же вершин развития и охвата большой территории достигают лишь сильные суб-

бури, а они нечасты. Суббуря в общем-то явление локальное, и слабую суббурю порой не видят даже с соседней наблюдательной станции.

Случай наблюдать суббурю выпал Фритьофу Нансену на рождество 1895 года во время вынужденной зимовки вдвоем со своим спутником Иогансоном, когда они не знали даже, на какую именно попали землю, покинув «Фрам» и двигаясь по льду Ледовитого океана. Нансен тогда записал в дневнике: «Погода почти тихая, и такой приятный лунный свет; невольно настраиваешься на торжественный лад. Это покой тысячелетий. После полудня было редкостное северное сияние. Когда я вышел в 6 часов, яркая, светло-желтая дуга перекинута была над южным краем неба. Долгое время она оставалась спокойной, почти не изменяясь. Затем началось сильное свечение у ее верхнего края за черным гребнем горы; с минуту продолжалось пылание; затем вдруг свечение распространилось вдоль дуги на запад, к зениту ото всей ленты метнулись лучи и, не успев я опомниться, как вся южная часть неба, от дуги до зенита, была объята светлым пламенем. Оно сверкало и горело, кружилось, словно в вихре ветра (движение происходило по солнцу), лучи летали взад и вперед, то красные и красно-фиолетовые, то желтые, зеленые и ослепительно белые; то у основания лучи были красные, а наверху желтые и зеленые, то наоборот. Выше и выше поднималось пламя; вот оно достигло и северной стороны зенита — на мгновение в нем образовалась великолепная корона; потом все обратилось в одну крутящуюся огненную массу; это был точно водоворот огня, красного, желтого и зеленого — глаз ослепляло это зрелище. Оно походило на сильный электрический разряд. Затем сияние перешло на северную часть неба, где оставалось долго, хотя уже не было такое блестящее. Дуга, из которой оно произошло на юге, была еще видна, но скоро исчезла. Движение лучей происходило главным образом с запада на восток, но отчасти и в обратном направлении. Позже несколько раз вспыхивало сияние в северной части неба, я насчитал до шести параллельных лент зараз; но яркостью они не достигали прежних».

Удивительно, с какой точностью ведет наблюдения знаменитый ученый-путешественник, будто пользуется категориями современной нам науки! А категории эти установились лишь к 70-м годам нашего века.

Когда отдельная суббуря заканчивается, авроральный

овал начинает жить обычной жизнью: идет круговорот, конвекция светящихся форм, растягивание или сжатие всего овала из-за изменений южной составляющей магнитного поля в налетающем потоке солнечного ветра. Но о сильной суббуре в магнитосфере остается память — увеличенное число энергичных частиц. Они появились с той стороны магнитосферы, где разразилась суббуря — в вечерне-предполуночном секторе. Эти энергичные частицы пополнили собой радиационные пояса Земли. Те из них, которые не потерялись в атмосфере из-за слишком большого размаха качаний вдоль магнитной силовой линии, постепенно обходят вокруг Земли, каждая со своей скоростью. Поэтому начальное их облако начинает размываться и приобретает характерные очертания радиационного пояса — это добавка к тому поясу, который был до суббури. А потом все идет, как при нашем описании радиационного пояса со слов «представим себе теперь, что в ловушке находятся не одна, а много частиц...».

Но бывает так, что за одной суббурей следует, накладываясь на нее, другая, потом третья и т. д. — до десятка и более (был случай — до 30) суббурь. Это уже буря, еще говорят: магнитная буря. При ней возмущения магнитного поля регистрируются по всей Земле, а не только вблизи аврорального овала, как при суббурях. Когда повторяющиеся суббури складываются в бурю, под авроральным овалом магнитные возмущения представляют собой следующие друг за другом бухты. При этом, как говорилось, магнитографы соседних станций дают резко отличающиеся записи. В то же время на средне- и низкоширотных станциях магнитографы ведут себя по-другому; хотя и дергающимися стрелками, но дружно регистрируют уменьшенную величину магнитного поля в течение нескольких дней*, продолжая это делать и тогда, когда суббури в приполярных областях уже закончились. Это общее, глобальное уменьшение магнитного поля создается электрическим током, текущим в радиационных поясах Земли. В самом деле, пояса сильно пополнились частицами во время серии суббурь. Теперь частиц в них стало так много, что на полярном небе можно увидеть то место, где они высыпаются из переполненных поясов в ионосферу, образуя неяркую полосу бело-желтого свечения, вытянутую при-

* Это Dst-магнитная вариация. Она характеризует величину возмущений при буре и может достигать 1000 нТ.

мерно в направлении магнитной параллели, — мы уже говорили о ней. Эта полоса приходится на более низкие широты, чем следующие друг за другом подвижные, яркие сияния суббурь. Области, где появляются эти добавленные при суббурях энергичные частицы, находятся внутри магнитосферы, там, где магнитное поле близко к дипольному. Добавленные частицы совершают свое движение, характерное для частиц радиационных поясов: протоны, оборачиваясь вокруг Земли, смещаются на запад, электроны — на восток. Это означает, что по радиационному поясу течет направленный на запад электрический ток, он и вызывает глобальное уменьшение магнитного поля в низких и средних широтах Земли при буре. В обычное время ток такого типа тоже существует в радиационных поясах, но, во-первых, он мал, а, во-вторых, он входит, так сказать, в фон, а мы сейчас говорим об отклонениях. Поэтому останавливаться на этом фоновом токе мы не будем.

Во время таких космических бурь «рванные» возмущения магнитного поля, из-за которых дергаются магнитные стрелки приборов, могут достигать такой силы, что в земной коре, в металлических предметах, в проводных системах связи благодаря магнитной индукции наводятся довольно сильные, тоже беспорядочные электрические токи. Они способны вызвать помехи и даже аварии в телефонно-телеграфной связи. Так, вот время сильной магнитной бури 11 февраля 1958 года в Швеции выходили из строя электрические линии и линии связи, была прервана сигнализация на железных дорогах, на кабелях загорался изоляционный материал, горели предохранители и даже трансформаторы.

При сильных магнитных бурях сияния могут наблюдаться далеко от аврорального овала как в сторону полюса, так и в сторону низких широт. Во-первых, выпуклости сияний, характерные для суббурь, все время заходят из аврорального овала в полярную шапку и создают неровное свечение с ее ночной стороны. Во-вторых, иногда высыпаются частицы из внутренних районов магнитосферы, магнитные силовые линии из которых приходят на поверхность Земли в низких широтах. Тогда полярные сияния бывают в Крыму и даже в Северной Африке.

Ионосфера Земли во время магнитных бурь, когда идут высыпания частиц из магнитосферы, естественно, не может находиться в нормальном состоянии, и радиосвязь ухуд-

шается. Например, во время уже упоминавшейся бури 11 февраля 1958 года прервалась радиосвязь во многих районах Земли, 15 июля 1959 года из-за магнитной бури не было связи по радио между Европой и Северной Америкой.

Не удивительно, что магнитные бури привлекали к себе внимание и начали изучаться гораздо раньше суббурь. Долгое время вообще считалось, что суббури — всего лишь спутники бури, осложняющие ее течение на высоких широтах. Правда, норвежский ученый К. Биркеланд еще в начале века выделил суббурю как самое значимое магнитное явление (он сумел также предугадать и ряд других идей космофизики 60—70-х годов: например, важность электрических токов, направленных вдоль силовых линий магнитного поля Земли). К сожалению, его прозорливость не могла заметно продвинуть вперед науку о суббурях, поскольку одними наземными средствами наблюдений изучать суббури было невозможно, так переменчиво и капризно их поведение, да и вести наблюдения за суббурями нужно на высоких широтах, тогда еще мало освоенных.

Когда же начались наблюдения непосредственно в космосе, стало ясно, что суббуря — самый важный из быстротекущих процессов в околоземном пространстве. И еще: магнитных бурь, как мы видели, без суббурь не бывает, суббури же могут происходить и сами по себе, вне магнитных бурь. Как отметил американский космофизик С. Акасофу, «подобно циклонам в атмосфере, суббури, эти скоротечные явления в магнитосфере, больше влияют на ее состояние, чем спокойные процессы, на фоне которых они развиваются». Например, есть некоторые свидетельства, что суббуря, совершившись, сама приводит к растяжению аврорального овала.

Так и попало красивейшее явление природы — цветное мятущееся полярное сияние — в самый центр делового внимания космо- и геофизиков. Однако до сих пор, несмотря на интенсивное изучение, непосредственные причины суббурь остаются неизвестными. Что же касается вероятности увидеть суббурю, то, как уже отмечалось, она становится значительно выше, когда солнечный ветер некоторое время приносит межпланетное магнитное поле с большой южной составляющей. Магнитные же бури, как правило, сопровождают вход нашей планеты в поток солнечной плазмы более быстрый, чем обычный солнечный

ветер. Такие потоки на фоне нормального солнечного ветра появляются при солнечных вспышках или вытекают из особых, длительно существующих областей на Солнце — мы еще будем говорить об этом. И важно еще: насколько сильна южная составляющая магнитного поля в этих скоростных потоках.

Вот и все основные сюжеты, которые можно увидеть, а точнее, увидеть и истолковать на современном уровне науки, глядя на естественный телевизионный экран — полярное небо. Остается отметить, что таких экранов — два, в полярных районах Северного и Южного полушарий. Самые интересные передачи — бури, суббури, показ правильных узких дуг — видны сразу на обоих экранах и выглядят одинаково у ионосферных подножий одной и той же магнитной силовой линии в обоих полушариях. Однако для более редких и размытых сияний полярной шапки эта синхронность может нарушаться. Как мы видели, у этого есть глубокие причины: силовые линии, пересекающие поверхность Земли в ее полярных шапках, тянутся далеко в хвост и, возможно, даже, как указывал Данжи, вообще уходят куда-то в солнечный ветер. Впрочем, все суждения о далеком хвосте пока основаны на косвенных данных, напомним, что космические корабли обстановку в нем еще не выяснили.

Понятно поэтому, насколько важно для выявления фундаментальных свойств магнитосферы и самих полярных сияний вести одновременные наблюдения у южного и северного ионосферных подножий одной и той же магнитной силовой линии. Такие наблюдения были и с поверхности Земли, и с самолетов, летящих в одно и то же время вдоль южного и северного авроральных овалов. К сожалению, на нашей планете очень мало таких мест, где можно было бы в условиях наблюдательной станции, находясь на суше, в сопряженных точках, у обоих таких подножий, следить за полярными сияниями. Вспомним, как выглядит расположение материков на глобусе. Северный Ледовитый океан похож на озеро, окруженное сушей, а Антарктида, наоборот, на остров в океане. Можно пересчитать все немногие пары точек, где оба подножия магнитной силовой линии попадают на сушу.

Одна из таких уникальных пар — поселок Согра в Архангельской области и остров Кергелен, затерявшийся в Индийском океане. В этих пунктах был проведен советско-французский эксперимент «Аракс». На геофизи-

ческой ракете, выпущенной с Кергелена, подняли в космос небольшой исследовательский ускоритель частиц. Частицы, которыми он выстрелил, пришли, навиваясь на магнитные силовые линии (см. рис. 2) в Северное полушарие и высыпались в атмосферу над Согрой.

Наблюдения за таким контролируемым потоком частиц помогают нам точнее представить себе условия в околоземном пространстве. Довольно часто высыпания введенных в магнитосферу заряженных частиц называют искусственным полярным сиянием. Это верно и неверно.

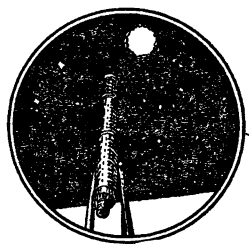
Конечно, свечение неба под воздействием энергичных частиц, выпущенных в космическое пространство, возникает, и даже порой очень сильное. Был, например, такой случай. В августе 1958 года в обстановке самой строгой секретности, какую только могут обеспечить военные, американцы проводили очередное испытание атомной бомбы. Взрыв произошел на высоте 70 километров над островом Джонстон — маленьким коралловым атоллом в Тихом океане. Но засветилось небо в районе архипелага Самоа — в трех с половиной тысячах километров от острова Джонстон, уже в Южном полушарии. Энергичные частицы, выброшенные в околоземное пространство, стали вести себя как «местные жители» — частицы радиационных поясов, пошли качания вдоль магнитных силовых линий, частицы начали теряться в атмосфере, вызывая ее свечение, уцелевшие пустились в обход вокруг Земли: протоны, как всегда, на запад, электроны — на восток, и т. д. Создалось искусственное переполнение радиационных поясов, которое может существовать очень долго. Атомные взрывы в космосе приводят к переполнению радиационных поясов энергичными частицами на годы. Это подтвердили спутниковые измерения после операций «Аргус» (три взрыва в Южной Атлантике на высоте 480 километров) и «Старфиш» (в Тихом океане). В настоящее время проведение таких атомных взрывов запрещено Московским договором.

Но называть полярным сиянием свечение от высыпания частиц из переполненных поясов я лично не могу. Так светиться может обычный телевизионный экран в комнате, если облучать его потоком посторонних энергичных частиц, например из того же исследовательского ускорителя. Но как это отличается от телепередачи, в которой интересно не свечение экрана, а то, о чем рассказывает это свечение! Полярные сияния, как мы видели, — это телепередачи из

космоса на определенные сюжеты. Они обеспечиваются всеми блоками естественного телевизора (магнитосферы нашей планеты), «принимающего» солнечный ветер. Интересно также, как устроен этот телевизор; например, как и почему высыпается обычная магнитосферная плазма в ионосферу, как при сильных возмущениях возникают частицы с повышенной энергией, пополняющие собой радиационные пояса, и многое другое?

А что заряженные частицы, захваченные магнитным полем, качаются вдоль его силовых линий — это известно.

8. НЕСКОЛЬКО ФУНТОВ ВЕЩЕСТВА



Наука есть лучший современный способ
удовлетворения любопытства отдельных лиц за счет государства.
Академик Л. А. Арцимович

— Читаешь-читаешь, ходишь по семинарам, чего только не слушаешь — и все ради этого?! — Я не могла отвести глаз от поразившей меня строчки: «Радиационные пояса Земли содержат всего лишь несколько фунтов вещества». Это утверждалось в статье, лежавшей передо мною. Среди авторов — известный американский космофизик Ван Аллен. Было начало 60-х годов. Совсем недавно поднялся в небо первый спутник.

Исследователь космоса Хесс писал о тогдашней космофизике: «Сейчас новые ценные статьи в этой области появляются со скоростью около одной статьи в день». Хотя изучение космических частиц шло быстро, представление о них оставалось отрывочным. Спутники регистрировали то большее, то меньшее их количество.

Надо было выяснить, откуда они появляются и куда исчезают. Судить же о процессах в огромном и, как ока-

залось, переменчивом космосе, располагая данными вдоль одной, хотя и многовитковой линии — траектории спутника, очень трудно. Выражения «спутник видел» или «они это видели на своем спутнике» — об исследователях, которые никогда не поднимались в космос, — вошли тогда в лабораторный жаргон космофизиков, да так и остались в нем. Но целостная картина из виденного не очень-то складывалась. В потоке научной литературы я напряженно искала хоть что-нибудь похожее на общие утверждения. И вот узнала: «Несколько фунтов вещества...»

Мало ли фунтов в Галактике! Мы с детства воспитаны в убеждении, что земная атмосфера надежно изолирует нас от них. Правда, эти несколько фунтов находятся вблизи Земли и состоят из весьма энергичных частиц. Присутствие их — радиоактивность космоса — обязательно учитывается при запусках космических кораблей, только тогда можно гарантировать здоровье космонавтов.

Жителей Земли защищает от этих частиц атмосфера планеты. В земных лабораториях исследователь отделен от области повышенной радиации толстыми стенами или специальным заслоном из свинцовых кирпичей. Такой способ защиты космонавта, находящегося вне атмосферы, может быть использован лишь в очень ограниченной мере: космический корабль не должен быть слишком тяжел. В принципе возможен другой способ — отводить подошедшие заряженные частицы в сторону с помощью электромагнитного поля. Но эта методика не отработана, и, кроме того, у нее есть свой недостаток: она может вызывать помехи в работе бортовых приборов. При быстром «проскоке» на корабле опасной зоны радиационных поясов космонавт получает незначительное облучение. Другое дело, если корабль летает внутри самих поясов... Прикладной целью работы специалистов-космофизиков всегда считалось определение степени радиационной опасности при космических полетах.

Однако в начале 60-х годов эта задача уже была в первом приближении решена. Для этого не понадобилось выяснять всю физику процессов в радиационных поясах, достаточно было путем измерений и приближенных оценок оконтурить их область. Уже кружили вокруг Земли спутники, на безопасных орбитах работали космонавты. Решающий шаг человечество сделало: космос стал доступен. Люди получили возможность оглядывать свою планету целиком, проводить в космосе необычные техноло-

гические операции. Все это можно делать, летая в той же безопасной зоне. И что нам в таком случае до явлений в радиационных поясах!

Конечно, спутники дают возможность подробно изучать эти явления, но мне казалось не совсем понятным, почему мы этой возможностью пользуемся. Потому что можно изучать или потому что стоит изучать? В самом деле, и на Земле есть много опасных для судоходства мест, но люди осваивают их «в рабочем порядке», не концентрируя на этом много внимания. А запуск космического корабля с его научными приборами стоит недешево. Не излишняя ли это роскошь — исследования ближнего космоса на таком ювелирном уровне? Тем более что даже доскональное его изучение привести к пересмотру фундаментальных законов физики не может, специалисты в этом единодушны: ближний космос живет по тем же самым физическим законам, что и Земля.

Другое дело — дальние космические полеты. Они недаром так интригуют фантастов. Очень может быть, что путешествия к далеким мирам потребуют уточнения наших представлений о фундаментальном в физике. Прогноз обстановки в космосе для корабля, отправляющегося в дальний рейс, совершенно необходим: такой корабль не отзовешь с орбиты в случае непредвиденных обстоятельств. Но мне погрузиться в эту область исследований мешало ощущение ее замкнутости: надо-де с помощью космических кораблей изучать космическое пространство, чтобы в нем могли летать другие космические корабли, исследуя то же пространство. До получения фундаментальных выводов, казалось, так далеко.

И потом, как знать, по какому пути пойдет развитие космической техники. Служили же людям на Земле парусные корабли, для которых неожиданно долгий штиль был равносителен аварии. Но задолго до появления радио и надежного прогноза погоды парусники уступили место пароходам, которым прогноз штилевой ситуации не важен.

Одни из моих товарищей, окончивших Московский университет, как и я, по специальности «атомная физика», вовсю включились в термоядерные исследования, другим удалось путем измерений электропроводности при плавном изменении температуры точно засечь почти неуловимый миг перехода жидкого металла в плазму, проводящий газ. Знаменитая проблема перехода от жидкости к газу, одинаковость химических и такая разница физи-

ческих свойств... Я же, занимаясь радиационными поясами, чувствовала себя не у дел. Вспоминала шутку нашего заведующего кафедрой Л. А. Арцимовича, ставшую потом такой знаменитой (она — эпиграф к этой главе), и видела, что нет у меня достаточного любопытства к одиноким энергичным частицам, чтобы иметь моральное право удовлетворять его за казенный счет.

К счастью для меня, наука о ближнем космосе быстро развивалась. Открылись частицы меньших энергий — космическая плазма, заполняющая околоземное пространство и активно влияющая на магнитные поля в нем. Плазма, которая смыкает верхнюю атмосферу Земли с солнечным ветром, в конечном счете с атмосферой Солнца.

Частицы радиационных поясов не перестали интересовать космофизиков. От этих энергичных и подвижных частиц зависит надежность и продолжительность работы бортовой аппаратуры спутников, которых в космосе становится все больше. Радиационные пояса находятся в области дипольного магнитного поля Земли, а область эта под воздействием солнечного ветра то увеличивается, то сокращается в размерах. Поэтому по показаниям счетчиков этих частиц можно определить, находится ли спутник в области дипольного поля или за ее пределами. Таким образом, знание физики радиационных поясов помогает изучать и процессы, в которых главные действующие лица — низкоэнергичная плазма магнитосферы и солнечный ветер. Различные явления в космосе оказались интригующе и тонко связаны между собой.

Круг проблем, стоящих перед космофизикой, непрерывно расширяется. Теперь уже от коллег, работающих в других областях физики, приходится слышать чуть завистливое: «У вас тема живая!»

И все-таки... Мы изучаем процессы, порождающие магнитные возмущения на Земле. Самый мощный их вид — магнитные бури, во время которых магнитное поле меняется всего лишь на несколько сотых долей своей величины. Впрочем, и само дипольное поле Земли... Небольшой постоянный магнетик создает между полюсами поле, раз в двести более сильное, а из таких магнитов делают, между прочим, магнитные защелки для шкафов! В лабораториях постоянные магнитные поля в сто тысяч раз сильнее естественного земного не редкость. Говорят, магнитная буря по энергии эквивалентна взрыву мегатонного термоядерного заряда. Но действие ее распростра-

няется на огромную область космического пространства. Настолько огромную, что впечатляющие цифры имеют мало отношения к происходящему в данном месте.

В ионосфере примерно на 100-километровой высоте часто дуют ветры со скоростью метров 100 в секунду — ураганные по земным понятиям. Выше, к 1000 километров, скорость движения вещества еще раз в 10 больше — это магнитосферная конвекция. Но космонавты, выходящие в открытый космос, «урагана» не замечают: это буря в том, что физики в лабораториях называют высоким вакуумом. «Буря в стакане воды»? Процесс никому на Земле не интересный, кроме специалистов по космосу, да радистов? Есть ли какая-нибудь связь между явлениями в космосе и нашей жизнью на планете Земля?

В начале 70-х годов космофизики стали интересоваться погодой. Меня подтолкнуло включиться в эти исследования одно происшествие, которое было далеко от Москвы и о котором я узнала совершенно случайно. Вывела меня на него старая университетская традиция.

Бывает, замотавшись к концу недели, перестаешь ощущать себя человеком. Тогда в воскресенье надо обязательно идти в поход.

Кто придумал этот чудесный вид отдыха? Созвониться с друзьями в пятницу, договориться о встрече «у пригородных касс», явиться воскресным утром налегке, прихватив плащ, термос да пару бутербродов, — вот и весь рецепт праздника. Что может быть прекраснее сочетания — друзья и природа? Но поход, кроме того, еще и долгое спокойное движение, которого так не хватает всю городскую неделю. Между прочим, во время встреч с зарубежными физиками порой заходит речь о привычных формах отдыха, и тогда тот факт, что у нас можно, так вот импровизируя, взять да отправиться с друзьями куда-нибудь километров на 20, всегда вызывает у западных коллег очень живую реакцию: для них, привычных к частному землевладению, это экзотика.

Стремление так проводить свободное время как-то само собой прививается в университете. Ходят в походы первокурсники, ищут возможности уехать летом с какой-нибудь экспедицией старшекурсники, их преподаватели, аспиранты и научные сотрудники, физики особенно.

Замечательный человек и физик, ректор МГУ Рем Викторович Хохлов был опытным альпинистом. Преданность

горам жила в нем буквально до последних дней, до несчастья, которое случилось при восхождении на одну из высочайших вершин Памира.

Недавно из книги Е. Лебедева «Огонь — его родитель» я с изумлением узнала, что и основатель нашего университета М. В. Ломоносов готов был на многое, лишь бы принять участие в экспедиции, равным счетом никак не относящейся к его прямым обязанностям.

Когда в Славяно-греко-латинскую академию, где учился молодой Ломоносов, пришла бумага с предписанием отобрать лучших семинаристов для обучения физике и математике в Петербурге, ректор академии не спешил включить Ломоносова в число избранных. Не оттого, конечно, что способности или прилежание Ломоносова вызывали у него сомнения. Дело здесь было в другом. Скорее всего, здесь сыграла роль история, связанная с поступлением Ломоносова. В 1731 году, чтобы стать учеником, Ломоносов назвался сыном холмогорского дворянина, и это сошло ему с рук, несмотря на то что на Севере крепостного права не было и потому холмогорских дворян не существовало вообще. В сентябре 1734 года, узнав, что в составе географической экспедиции, направлявшейся в киргиз-кайсацкие степи, не доставало священника, Ломоносов предложил... свои услуги. Ему очень хотелось принять участие в этой поездке: увидеть заволжские края, поближе познакомиться с практической географией. При оформлении бумаг он, чтобы облегчить себе рукоположение в священники и устройство на эту должность в экспедицию, показал под присягой, что «отец у него Холмогорах церкви Пресвятыя богородицы поп Василий Дорофеев».

(Внутренним благоговением перед религией будущий создатель Московского университета, как мы видим, не отличался. 50 лет работал университет по учебным программам, которые он составил, и был это единственный из европейских университетов того времени, который не имел факультета богословия.)

Когда при проверке выяснилось, что никакого попа Василия Дорофеева в названной церкви никогда не числилось, Ломоносову был учинен вторичный допрос, на котором он рассказал уже все как есть: что «рождением он, Михайло, крестьянина Василья Дорофеева сын»... И вот теперь, когда встал вопрос о новом оформлении документов, уже о продолжении образования в Петер-

бурге, эти старые факты, с административной точки зрения характеризовавшие Ломоносова как человека сомнительного, опять оказались в центре внимания. Лишь благодаря вмешательству влиятельного лица юноша все-таки попал в Петербург.

Вероятно, чем-то очень знакомым повеяло бы на Михаила Васильевича, будь у него возможность в наше время пройти весной по зданиям почти 230 лет назад основанного им университета. Всюду развешаны узкие полоски бумаги: «Экспедиции для работы в районе... на срок... требуется рабочий (или шофер, или повар). Звонить по телефону...» Если приглашают, значит, ездят! И приглашающему надо до выезда определить, действительно ли явившийся к нему человек тот, кем он называет себя: выдержит ли нагрузку рабочего-шурфовщика, сумеет ли водить машину или готовить еду.

И известные слова Пушкина о Ломоносове: «Он создал первый университет. Он, лучше сказать, сам был первым нашим университетом» — мне не кажутся такой уж метафорой.

С детства меня удивляло, как удается жить народам Севера в своей арктической пустыне, и я много читала на этот счет. Оказалось, с опорой друг на друга и на понимание природы. Стала интересоваться системами отношений между людьми, конкретной историей и памятью народов — этнографией. В 1973 году я пришла в Институт этнографии с надеждой выяснить, не читают ли этнографы какие-нибудь доступные для меня лекции, познакомиться и, если будет случай, попроситься в экспедицию на время отпуска. Разговаривать мне пришлось с Ю. Б. Симченко, этнографом и писателем, имя его было мне знакомо по книгам. Едва я начала говорить, он перебил меня.

— Говорите прямо, в экспедицию хотите?

— Хочу.

— Но мы берем только определенных работников. Фотографировать можете? С магнитофоном дело имели?

Пришлось признаться, что с техникой у меня, теоретика, отношения непонятные: я к ней — с душой, она ко мне — с капризами. Юрий Борисович выразительно развел руками... Вдруг меня осенило: вот чем я могут быть им полезна!

— Я умею рисовать!

— Это другое дело!

Я принесла потом свои рисунки, и судьба моей поездки была решена.



Неотвязный стоит на дороге,
Белый — смотрит в морозную ночь.
Я — навстречу в глубокой тревоге,
Он, шатаясь, сторонится прочь.
А. Блок.

Обской Север, маленький заполярный поселок Антипаютá. Мне надо сделать зарисовки всех типов нарт, какие только можно здесь встретить. На рисунках должны быть проставлены размеры каждой детали и приведено ее местное название. Каждая нарта красива, упруга и легка. Проще всего ее рисовать сбоку. Временами трудно устоять: хочется передать красоту и напряженность конструкции и тогда ищешь ракурс выразительнее. Вот тут-то и чувствуешь, что в нарте нет прямых линий: все изогнуто, где сильнее, где слабее. Рисунок расплывается, линии не попадают на свое место. Стираешь одно, другое... Досадуешь, смотришь, соображаешь... «Чтоб тебе на морозе рисовать нарту в ракурсе! — так вполне можно проклинать кого-нибудь», — думаю я, принимаясь прыгать и дергаться, чтобы как следует разогреться. Выгляжу я, наверное, как шаман...

Прекрасный это был отпуск! О физике я вспомнила лишь накануне отлета. Мы долго ждали самолет. После напряженной работы вынужденное безделье в разгар полярной ночи казалось невыносимым. «Антипаютá: вначале красота и суета, кончали — темнота и маята», — итожили мы свои впечатления. Чтобы скрасить ожидание, моя спутница-журналистка принялась расспрашивать местных жителей, ненцев, о великане Тонге, герое народных сказок. С удивлением мы узнали, что он приходил в Антипаютинскую тундру всего лишь год назад. Оказалось, что это известно всем живущим в поселке: и ненцам, и русским:

Наши собеседники, радуясь возможности обсудить волновавшие их вопросы со свежими людьми, приводили массу подробностей и фактов. Конечно, о сказочном герое говорили с усмешкой. Именем Тонге пользовались как «кодовым названием» всей цепи происшествий. Название было удобное, потому что в фольклоре ненцев подобные события всегда связывались с Тонге — Белым человеком. А случилось вот что.

Вокруг Антипаюты по безлесной, плоской, раскинувшейся во все стороны тундре кочуют со своими стадами бригады ненцев-оленоводов. В легком переносном чуме оленевода (поразительно похожем на индейский вигвам, каким мы знаем его из детских книг) вместе с ним живет его семья. Несколько таких семей, и больше никого на многие десятки километров. Этим людям и стал беспокоить Тонге, к поселку он не подходил. Он появился с первыми после полярного дня сумерками, когда землю только что начал припорошивать снежок. Видели его очень немногие. К сожалению, поговорить с видевшими его людьми не удалось: все они были в отъезде. По невнятным пересказам третьих лиц, кому-то из них Белый человек явился в виде белого тонкого, уходящего ввысь столба. Другой видел подобный же столб при перекочевке, когда он внезапно возник между двумя нартами, идущими одна за другой. Третьему он показался белым человеком чудовищно высокого роста со светящимися глазами. Кто-то замечал цепочку его следов с несколькими пальцами, всегда тянущуюся куда-то вдаль.

Зато в поселке было много оленеводов, так или иначе соприкасавшихся с Тонге. Как выяснилось из разговоров, эти встречи походили одна на другую. Налетал Белый человек, по-видимому, в ночные часы, когда все были дома. Он начинал «играть с чумом»: лазил по его стене, подсовывал под него палки, забрасывал внутрь чума через дымовое отверстие разные мелкие предметы, найденные им в тундре. Обычно это были камни и палки, но однажды сверху упала... старая керосиновая лампа, в другой раз пузырек с чернилами для авторучки. Иногда Белый человек отбрасывал оленью шкуру, которая прикрывает вход в чум, и тогда можно было заметить его глаза — белые, зеленые или красные. Человек, выглянувший из чума, никого не видел, но однажды кто-то, высунувшись, получил удар палкой по спине. Порой слышались звуки, похожие на ржанье лошади, — Белый человек смеялся.

Если начиналась «игра», разговор в чуме замолкал, и все с напряжением ждали, когда все это кончится. Собаки сидели спокойно и не лаяли. Утром на припорошенной снегом стене чума видны были «письмена» Белого человека.

Чтобы избавиться от шалостей Тонге, люди перекочевывали с места на место. Это не всегда помогало. Рассказывали, будто один человек дней 10 подряд переставлял свой чум, но Тонге все-таки находил его каждую ночь.

Среди стариков и детей началась паника. Это беспокоило всех. Бригадир оленеводов рассказывал, как он с группой других мужчин выскочил из чума во время налета Тонге. Встав вокруг чума и взявшись за руки, они начали сходитьсь, желая схватить Тонге. При этом они не видели и не слышали ничего особенного, но им все время казалось, что по ним стреляют пулями. Поймать, конечно, никого не удалось.

Из соседнего поселка выезжала даже комиссия, чтобы разобраться в причинах тревоги и ненужных перекочевок, а также по возможности успокоить население. По непроверенным слухам, она и забрала в качестве вещественных доказательств «налета» ту самую керосиновую лампу и чернила для авторучки.

Белый человек показался мне особенно интересным, когда на вопрос моей спутницы: «А когда точно это все было?» — последовал ответ: «В семьдесят втором году. Но раньше тоже бывало: в шестьдесят восьмом — шестьдесят девятом». Белый человек появлялся и до этого, но когда именно, никто точно не помнил.

Мне на минуту показалось, что я слышу разговор своих сотрудников — физиков. Мы часто упоминаем эти даты вместе: 1972-й, 1968-й, 1969-й. Для нас это годы особого состояния космоса.

В августе 1972 года произошла уникальная по силе вспышка на Солнце, за которой последовало еще несколько сильных вспышек. Это был период сильнейших магнитных бурь на Земле, и составляющие их суббури отличались необыкновенно мощными сияниями: 1968—1969 годы были годами максимума так называемого 11-летнего цикла солнечной активности. Полярные сияния тогда тоже были частыми и сильными. Они наверняка должны были гореть над Антипаутой. Уж не было ли явление Белого человека связано с ними?

Правда, в рассказах не упоминалось полыханье не-

ба, но полярные сияния видны не всегда. Я уже говорила, что даже сквозь сильное полярное сияние видны звезды. Это значит, что всякий раз, когда небо светло и на нем нет звезд, сияние окажется незамеченным. В 1972 году Тонге появлялся, когда в этих местах ночи еще не были темными: «были сумерки», землю только начал припорошивать снег. Но глаза Тонге горели белым, зеленым или красным светом — это характерные цвета полярных сияний. Белый человек казался мне — и кажется сейчас — каким-то атмосферным явлением.

Если сравнивать его с другими известными погодными явлениями, то больше всего он походит на смерч (торнадо). Наблюдаемые в Америке торнадо часто издают звук, подобный жужжанию пчел или даже грохоту товарного поезда. Здесь — ржание лошади. Смерч то касается поверхности Земли, то хсбот его висит в воздухе. Здесь — видят цепочку следов. Наконец, смерч известен своей способностью втыкать продолговатые предметы во что угодно и переносить вещи на большие расстояния. Белый человек умеет это делать тоже. Мелкие камешки, песок — может, это и есть те «пули», которые обстреливали людей, ловивших его?

Но смерч часто взрывает попавшие в него строения, поскольку давление снаружи дома при смерче оказывается намного меньше, чем внутри. Подобного свойства у Белого человека не замечали. Однако чум — это не дом: это специальная конструкция, рассчитанная на то, чтобы сильный тундровый ветер не мог ее снести. Достигается это не прочностью строения, а определенной системой внутренних сквозняков.

Правда, смерчи не характерны для высоких широт. Да и снег с чума не сдувался, лишь оставались «письмена» Белого человека.

Этнографы знают, что означает имя сказочного персонажа Тонге. Это тунгус, старое название эвенков. У ненцев были с ними в стародавние времена пограничные конфликты, кончавшиеся угоном оленей.

К моим рассказам о Белом человеке этнографы отнеслись с профессиональным интересом: слух — родня преданию, мифу.

Расшифровать миф трудно, так как действительность может отражаться в нем весьма причудливо. Здесь же, казалось, мы присутствовали при его рождении — момент, важный для этнографии. К сожалению, хотя предание о

Тонге-72 было совсем свежо, никто не мог сказать, какая же реальность облеклась в оболочку рассказов о нем. Стали интересоваться моими предположениями насчет Тонге. Мне не слишком хотелось распространяться о них — к чему одну неясность, этнографическую, заменять на другую, метеорологическую? Однако пришлось все же держать ответ, в какой степени вообще влияют наблюдаемые в космосе события на нашу земную жизнь. Я рассказывала, что знала.

Мы живем светом Солнца. Мощный ровный поток этого света практически постоянен: по измерениям на высокогорных обсерваториях и на ракетах изменения количества энергии, приносимой световым (точнее сказать, электромагнитным) излучением Солнца к Земле, не превосходят одного процента. С Земли видно, что состояние атмосферы Солнца непрерывно меняется: на нем происходят вспышки, появляются, движутся и исчезают темные и светлые пятна. Земные приборы регистрируют усиление рентгеновского излучения и необычное испускание радиоволн. Обо всех этих и некоторых других процессах (упоминать здесь о которых нет надобности) говорят как о проявлениях солнечной активности. Многие изменения происходят согласованно: в первую очередь это можно сказать о возникновении пятен, вспышек и еще некоторых явлений в хорошо известном 11-летнем цикле солнечной активности.

Мы удалены от Солнца на расстояние, равное всего лишь 107 его диаметрам. Более того, Земля находится в непосредственном контакте с солнечным веществом: это вещество, расширяясь в межпланетное пространство, создает солнечный ветер, постоянно обдувающий нашу планету. Можно сказать поэтому, что мы живем внутри Солнца.

И все-таки не очевидно, что наблюдаемые изменения Солнца хоть сколько-нибудь заметно влияют на нашу жизнь. Дело здесь в том, что, во-первых, все эти процессы ничтожно мало добавляют к той энергии, которая непрерывно уносится электромагнитным излучением Солнца и которая обеспечивает нашу жизнь; во-вторых, мы, так сказать, пользуемся Солнцем через посредника — нагретую планету, окруженную плотной атмосферой. Наличие массивного посредника многое значит. Когда человек отогревает руки, приложив их к теплему боку печки, он может долго не интересоваться топкой, может

закрыть глаза, его не касается, сильнее или слабее стало в данный момент пламя в печке. Прогретая каменная стенка дает ровное тепло. Возле костра глаз не закроешь! Вот вспыхнула смолистая ветка — нужно отвести руки, прогорела — снова протянуть их поближе к огню. Мы на своей планете — у теплой печки: суша и воды Земли нагреты светом Солнца, прошедшим через ее прозрачную атмосферу. С первого взгляда кажется поэтому, что мы вполне можем отвлечься от разного рода вспыхиваний нашего источника тепла — от активности Солнца. На этом весьма естественном предположении и основано подавляющее большинство метеорологических исследований.

У тех же, кто пытался использовать данные о солнечной активности при составлении прогнозов погоды, не нашлось столь же убедительных доводов в обоснование своего подхода, поэтому их идейная позиция с самого начала оказывалась весьма уязвимой. Таких исследователей было немного, работали они разрозненно, данные их не перекрывались. Часто случалось, что результаты их исследований, проведенных в разных точках земного шара, противоречили друг другу. Да и подмеченная согласованность в изменениях земных и солнечных величин выглядела порой очень странно. Скажем, заметят, что температура изменяется так же, как и солнечная активность, — вместе с ней возрастает и убывает. Но вот проходит несколько десятилетий, и закономерность становится прямо противоположной: когда активность нарастает, температура падает, и наоборот. А спустя некоторое время восстанавливается прежняя согласованность. И это при том, что в нескольких сотнях километров от этого места все это время вообще не обнаружилось никакой связи между солнечной активностью и температурой воздуха. Хуже того, установленная было закономерность могла исчезнуть в любой момент. Это обескураживало.

Не удивительно, что коллеги крайне настороженно относились к таким результатам и избегали тратить силы и время на их проверку, перепроверку и обсуждение. А это значило, что исследования по влиянию солнечной активности на земные события не получали того объективного критического разбора, которому обычно подвергаются научные изыскания. Виднейший ученый-гидрометеоролог англичанин Г. Ламб характеризовал их как работы, выполненные сверхэнтузиастами или наивными диле-

тантами, действующими в изоляции, без должной критики исходных данных и результатов.

Так и сложилось, что исследователей космического влияния на погоду стали называть специалистами по солнечно-земным, солнечно-погодным или солнечно-атмосферным связям, гелиогеофизиками и т. д., тогда как тех, кто считает эти влияния неощутимыми, — просто метеорологами или специалистами по физике атмосферы. Подобно этому выделились гелиобиологи из просто биологов. Не далее как в 1972 году один из наших ведущих ученых в области физики атмосферы писал, что подавляющая часть материалов по влиянию космических факторов на погоду производит на него впечатление «успешных упражнений в самовнушении».

Впрочем, о взаимоотношениях между традиционным и гелиогеофизическим направлениями в метеорологии мои слушатели, этнографы, были осведомлены. Их широко обсуждали газеты в связи с жесточайшей засухой, случившейся на европейской части СССР летом 1972 года. Поскольку Гидрометцентр СССР предсказать эту засуху не смог, появился особый интерес к работам исследователей, использующих данные о солнечной активности при составлении прогнозов земной погоды. Печать сообщала, что погодные аномалии успешно предсказывает А. В. Дьяков, сотрудник научно-исследовательской станции Горная Шория Кузнецкого металлургического комбината, прогнозирующий с учетом активности Солнца.

К этому я ничего не могла прибавить, поскольку специальная литература о засухе 1972 года мне была незнакома. Тогда, в Антипаюте, мне это показалось непростительным, и я обещала, вернувшись в Москву, как следует разобраться в современном положении дел.

В Москве я навела справки. Оказалось, в октябре того же аномального 1972 года гелиогеофизики собрались на Первое всесоюзное совещание по солнечно-атмосферным связям в теории климата и прогнозов погоды. Прекрасно! Было совещание — значит, опубликованы его материалы, а по ним без хлопот и библиотечных розысков можно составить себе представление о существующих точках зрения, выделить стоящие и затем по ссылкам поднять нужную литературу. С этого и начала.

При просмотре материалов, относящихся к засухе 1972 года, непредубежденному человеку трудно подавить в себе чувство раздражения, на ум начинают приходить

черты и рассказы о кладоискателях, космические влияния кажутся ускользающими и в то же время безотвязными. Там, где ждешь результата, ничего не оказывается. Но стоит только решить про себя, что засуха и космические явления никакой связи между собой не обнаруживают, как на глаза сразу же попадает факт, говорящий обратное.

В самом деле, в 1972 году Солнце вело себя крайне необычно. Его активность, вместо того чтобы постепенно падать до минимума, как предопределено 11-летним циклом, в апреле 1972 года начала неожиданно возрастать. Это возрастание увенчалось в августе вспышкой необыкновенной силы, которая совпала по времени с пиком засухи на европейской части СССР. Казалось бы, исследователи, прогнозирующие по солнечной активности, уже в апреле располагали материалом для предсказания надвигающейся погодной аномалии.

Успешный прогноз — прекрасная рекомендация тому или иному методу предсказания погоды. На совещании специально подвели итоги прогнозов засухи 1972 года. Кто же и насколько заблаговременно предсказал эту засуху? Материалы совещания дают на этот вопрос весьма неожиданный ответ. Оказывается, из специалистов, прогнозирующих по солнечной активности, эту засуху не предсказал никто, в том числе и А. В. Дьяков (его доклад также имеется в опубликованных трудах совещания). В августе 1972 года, уже в разгар засухи, в Ленинград, в Главную геофизическую обсерваторию (ГГО) были присланы для анализа все тексты прогнозов А. В. Дьякова за 1963—1972 годы. Прогноз на лето 1972 года для европейской территории СССР среди них отсутствовал. Выяснили: такой прогноз Дьяковым не был дан. «Крепким орешком» оказалась эта засуха: ведь, судя по газетным и журнальным публикациям, бывали случаи, когда ему удавалось предупреждать заранее о необычных погодных явлениях. Например в 1968 году он известил президента Французского астрономического общества о предстоящей суровой зиме во Франции. (Сибирские огни, 1968, № 9).

В то же время предсказания засухи 1972 года, более или менее заблаговременные, были сделаны методами традиционной метеорологии. Однако первой, по-видимому, предупреждала об этой засухе ленинградский метеоролог Т. В. Покровская — еще в феврале 1972 года. А ее прогноз

был основан на данных о геомагнитной возмущенности, сравнительно быстрых (в течение суток, часов или минут) изменениях магнитного поля на Земле. Эти изменения вызываются токами, текущими над плотной нейтральной атмосферой — в ионосфере и магнитосфере, в ближнем космосе. И снова приходится думать о его связи с земной погодой... Углубление в литературу ясности не приносило. Метеорологи традиционного направления расценивали обстановку так.

Разные участки поверхности Земли неодинаково нагреваются приходящим от Солнца постоянным потоком света (вспомним раскаленные камни летнего пляжа у холодной воды). Да и попадает на них солнечный свет в большем или меньшем количестве в зависимости от сезона, времени суток, географической широты. Над перегретым участком воздух, разогреваясь и расширяясь, всплывает вверх и растекается в стороны. Это приводит к весьма запутанным перемещениям воздушных масс. Потоки воздуха разносят тепло и холод, вызывая разнообразные изменения погоды, иногда неожиданные и необычные. И вот в конце декабря, когда зима в средних широтах должна поворачивать на мороз, вдруг начинается оттепель, а в июне или в начале сентября идет снег. И такие разнообразные погодные явления порождаются одной лишь неоднородностью поверхности Земли, при неизменном потоке солнечного света!

Заметим еще, что чувствительность живых организмов к переменам погоды очень велика. В сводках по радио и телевидению наступление плохой погоды часто объясняют приходом сильного циклона. Это событие приводит к изменению атмосферного давления всего лишь процента на два, но это тем не менее заметно влияет на самочувствие человека. Очевидно, для того чтобы предсказывать такие тонкие — всего в два процента! — детали состояния атмосферы в будущем, необходимо по крайней мере не менее уж точно представлять себе ее состояние в данный момент. А этого нет. Густота сети метеостанций оставляет желать лучшего, поскольку большая часть нашей планеты покрыта водой, да и на суше есть много труднодоступных мест, где нельзя проводить регулярные наблюдения в полном объеме. Со спутников прекрасно просматривается облачный покров, по спутниковым данным можно приближенно определить вертикальное распределение температур, но не замеряются многие

другие характеристики атмосферы, за которыми ведут наблюдения наземные станции. При таком положении дел на высокое качество долгосрочных прогнозов рассчитывать не приходится (заметим для примера, что даже в 1978 году метеослужба Франции никаких официальных сведений о погоде раньше чем за два дня не давала). Полагаться вполне можно лишь на краткосрочные прогнозы, по существу извещающие о направлении развития и движения ветровых систем, уже сложившихся в атмосфере ко времени составления прогноза.

Итак, если учитывать, как это делает традиционная метеорология, одни лишь несомненно действующие на погоду факторы — постоянную солнечную радиацию, свойства земной поверхности и возникающие при ее нагреве движения воздуха, то уже получается сверхсложная и неопределенная картина. Где уж тут разбираться с космическими влияниями: и без того забот хватает!

В свою очередь, гелиогеофизики полагают, что у такой сложной и неизученной системы, как атмосфера, вполне могут быть не предвиденные нами реакции на малые внешние воздействия. Говоря об этом, гелиогеофизики прибегают к образу спускового крючка, при нажатии которого малое действие высвобождает большую энергию. Энергетическая база здесь — это энергия сжатой пружины, приводящей в движение боек, и еще химическая энергия, скрытая в порохе. Предполагается, что и малое воздействие из космоса, приводя к развитию внутриа-тмосферных неустойчивостей, может сильно повлиять на погоду. Правда, при этом остается неясным, почему именно внешнее космическое воздействие играет такую решающую роль: переменчивая, вечно возмущенная атмосфера вполне может «спускать» свои неустойчивости сама, решая тем самым внутренние напряжения.

Когда-то было такое: зимний Урал, нетронутый снег перед входом в Капову пещеру. Там, в глубине, — известные на весь мир древнейшие наскальные рисунки. Мы, семеро студентов МГУ, только что сбросили рюкзаки и теперь меняем телогрейки на легкие штормовки — под землей должно быть 10—12 градусов тепла. Налегке мы хотим просмотреть начальную часть пещеры, где завтра предстоит работать нашей научно-спортивной экспедиции. Собрались, шагнули в грот и замерли. На пути встал перелесок из ледяных сталагмитов. Были прямые, но больше наклонных, под самыми невообразимыми углами.

Увесистые, в человеческий рост, канделябры и рядом — тонкие, похожие на лыжные палки, они рельефно выделялись в свете зимнего морозного дня на темном фоне свода. Удивленное молчание... и чье-то тихое «Ах!». Хрустальный звон в ответ. Расколовшись на мелкие куски, лежали у наших ног ледяные канделябры и лыжные палки. Мы с сожалением фотографировали обломки и оставшиеся кое-где прямые столбики.

Встряхнуло воздух случайное восклицание, и повалились неустойчивые ледяные сталагмиты. Вот он, спусковой крючок. Да, чтобы ему сработать, нужна была особая обстановка пещеры, где выросли странные ветвящиеся, наклонные сталагмиты. В обычных условиях «открытого всем ветрам» мира такие внутренние напряженные состояния давно разрешились бы сами собой или вообще не могли бы возникнуть.

Мне ничего не оставалось, как завершить свою просветительскую миссию у этнографов знаменитыми словами моего коллеги из фильма: «Есть ли жизнь на Марсе, нет ли жизни на Марсе — науке пока неизвестно!»

За текущей литературой по солнечно-атмосферным связям я продолжала следить. У меня сложилось убеждение, что детали поведения такой сложной системы, как атмосфера, умозрительно выявить нельзя: против каждого соображения нетрудно выдвинуть контрдовод, а то и несколько. Это значит, что судить о влиянии на атмосферу космических процессов можно лишь на основе фактов, достаточно достоверных, чтобы убедить инакомыслящих. Пусть даже выявление их не ведет к немедленному улучшению прогнозов погоды, с принципиальной точки зрения они все равно бесценны.

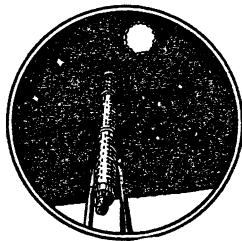
Значение фактов признавали и сторонники традиционного направления в метеорологии. Например, на рубеже 60-х и 70-х годов член-корреспондент АН СССР А. С. Монин отмечал, что всякий результат, касающийся солнечно-атмосферных связей, следует воспринимать весьма критически, поскольку обнаружение таких связей, по его мнению, представило бы собой почти трагедию для метеорологии, так как в этом случае при составлении прогноза погоды на Земле нужно было бы прогнозировать сначала состояние атмосферы Солнца.

И вот в 1973—1975 годах произошло важное событие: свидетельства влияния космических процессов на движение воздуха вблизи поверхности Земли, пожалуй, впер-

вые в истории выдержали пристрастную проверку специалистов-метеорологов, державшихся другой точки зрения. Эта дискуссия, в которой участвовали известные ученые-космофизики Робертс, Вилкоккс, Хайнс и их сотрудники, в отличие от предыдущих велась без ссылок на неизученность и сложность атмосферы, была конкретной и доказательной. Такой характер обсуждения стал возможен только потому, что запуски космических аппаратов позволили получить детальные данные о космосе. Люди стали представлять себе ход процессов в нем и научились прогнозировать некоторые из них. Эти события заслуживают подробного рассказа.

Значительная их часть стала мне известна благодаря Сергею Михайловичу Мансурову. В 1973 году он был приглашен американскими коллегами участвовать в работе национального симпозиума по гелиогеофизике. Материалы этого симпозиума, с которыми познакомил меня, вернувшись, Мансуров, были очень интересны: кажется, это был первый случай, когда совещание по атмосфере проводилось с широким участием специалистов по космосу. На эти материалы я ссылалась, доказывая у себя в институте, что космофизикам пришло время заняться изучением атмосферы. Начальство пошло мне навстречу. Так кончилась пора моего знакомства с солнечно-атмосферными связями и началась работа по их выявлению.

10. ФАКТЫ



Самое главное — факты.
Любимое изречение Э. Резерфорда

Гелиогеофизиков часто называли дилетантами, и это звучало как упрек. Однако история знает немало случаев, когда дилетанты, заинтересовавшись каким-либо

процессом, выпавшим из поля зрения ученых-профессионалов, делали неожиданные открытия. Например, 11-летний цикл в изменениях солнечной активности был открыт в середине прошлого века астрономом-любителем, аптекарем по профессии, Швабе, который лично в течение 22 лет наблюдал в подзорную трубу с крыши своего дома за числом солнечных пятен на диске Солнца. Профессионалы, его современники, систематически таких наблюдений не вели.

А история открытия ионосферы! Решающий шаг в освоении диапазона коротких волн, в установлении дальней радиосвязи был сделан, как мы помним, радиолюбителями.

В 1973 году Робертс высказывался о себе как о дилетанте в метеорологии. Действительно, основное направление его исследований — космофизика. В одной из своих метеорологических работ он совместно с Олсоном попытался выявить реакцию атмосферы на отдельные возмущения магнитного поля Земли на материале гигантских атмосферных вихрей — циклонов. Циклоны часто образуются над бухтой Аляска в северной части Тихого океана. Робертс и Олсон проследили их развитие по синоптическим картам. Они отдельно рассмотрели циклоны, появлению которых предшествовало 10 магнитоспокойных дней, а в другую группу объединили циклоны, появившиеся после резкого магнитного возмущения. Циклоны второй группы оказались более мощными, особенно в начальный период своего развития (это различие наиболее заметно на высоте 9 километров). Поскольку возмущения магнитного поля Земли вызываются электрическими токами, текущими на высотах более 100 километров, уровень геомагнитной активности характеризует возмущенность ближнего к Земле космоса. Вывод, который сделали Робертс и Олсон, был в духе гелиогеофизики: за периодом возмущенности космоса следовало появление мощных циклонов у поверхности Земли.

Это был удивительный результат, особенно если учесть, что возмущения в космосе — это возмущения крайне разреженной среды: ведь плотность воздуха на высоте 100 километров более чем в миллион раз меньше его плотности на высоте 9 километров. Намного меньше разница в плотности между желе, лежащим на блюде, и самим блюдом. Но попробуйте, раскачивая ложкой верхний слой желе, сдвинуть с места тяжелое блюдо! Желе будет колы-

хаться, блюдо стоять. Наоборот, если тронуть само блюдо, желе сразу же ответит сильными колебаниями. Этот пример поясняет, почему известный специалист по атмосфере и физике космоса канадец Хайнс, проведя со своими сотрудниками тщательный анализ и согласившись с результатами Робертса и Олсона, дал им противоположное истолкование — с позиций традиционной метеорологии. По мнению Хайнса, естественнее было бы считать, что перемещения воздуха в плотной атмосфере у поверхности Земли вызывают быстрые движения вышележащей разреженной атмосферы. На высоте 100 километров и выше, как известно, — ионосфера: воздух электропроводен, поскольку он содержит в виде небольшой примеси заряженные частицы. Как мы знаем, движение такого проводника в магнитном поле Земли вызывает электрический ток в нем и соответственно магнитные возмущения: работает ионосферное динамо. Процессы в нижней атмосфере, продолжая развиваться, могут привести к зарождению циклона. Поскольку этот циклон возникнет уже после начала магнитного возмущения, он может быть ошибочно принят за следствие появления тока в верхних слоях атмосферы; другими словами, за результат космического воздействия. На самом деле обстановка в ближнем к Земле космосе будет определяться приземными процессами. Это рассуждение очень красиво и убедительно. Таков вообще стиль работ Хайнса. Его исследования по распространению атмосферных волн и уже упоминавшаяся нами совместная с Аксфордом работа по конвекции плазмы в магнитосфере считаются классическими.

В дискуссию вступил космофизик Вилкоккс. Он предложил сопоставить развитие циклонов с данными о магнитном поле в обдуваемом Землю солнечном ветре — межпланетном магнитном поле. Южная составляющая этого поля управляет важнейшими процессами в магнитосфере. Но южная составляющая — это еще не все магнитное поле. Оно интересно и в целом. Несмотря на возмущения, магнитное поле в солнечном ветре имеет довольно упорядоченную структуру. Если представить себе, что лист бумаги изображает плоскость солнечного экватора (Земля и другие планеты движутся примерно в этой самой плоскости), затем поставить на листе точку — Солнце и нанести границы раздела между областями, где магнитные силовые линии межпланетного поля

идут от Солнца, и областями, где они тянутся к Солнцу, то получится своеобразная геометрическая фигура с плавно загнутыми лучами, которые выходят из одной точки (Солнца) и делят межпланетное пространство на четыре сектора. Впрочем, бывает иногда и другое число секторов. Анализируя данные измерений с борта спутника, ученые сделали вывод, что по мере удаления наблюдателя (космического аппарата) от плоскости солнечного экватора эта расчлененность сходит на нет и остаются спиральные силовые линии только одного направления: по одну сторону от плоскости экватора они все тянутся от Солнца, по другую — к Солнцу.

Схема секторной структуры межпланетного магнитного поля в экваториальной плоскости напоминает мне древний символ Солнца, бытовавший у многих народов мира. Его видят археологи на найденных в Зауралье предметах, его чертили вместо подписи в налоговых документах аборигены Сибири, и чем древнее документ, тем отчетливее, «сознательнее» нарисован этот знак. Он встречается также на вышитых архангельских полотенцах, смотрит на нас с фасада старой русской избы.

Славяне во время языческих праздников, посвященных солнцу, зажигали деревянное колесо, и пускали его катиться вниз по склону. Что должны были означать изогнувшиеся по спирали языки пламени?

Как нам известно, солнечный ветер — это расширяющаяся в пространство корона (самая внешняя часть атмосферы) Солнца. Близкую к видимой поверхности Солнца часть короны можно наблюдать во время полного затмения: вокруг солнечного диска, закрытого Луной, образуется светящийся ореол. При этом местами проглядывает и структура магнитного поля в этой части короны. Происходит так вот почему. Солнечное вещество представляет собой плазму, газ, обладающий электропроводностью. Как и всякий газ, плазма стремится уйти из области повышенного давления. Как и всякому проводнику, ей труднее двигаться поперек магнитных силовых линий, чем вдоль них, причем тем труднее, чем больше величина магнитного поля. В видимой части короны магнитное поле достаточно сильно, чтобы плазма «предпочитала» растекаться вдоль силовых линий (заметим, что на больших расстояниях от Солнца это не так, и там, наоборот, движущееся вещество тянет за собой вмороженные в него силовые линии). Поскольку физические

характеристики плазмы неодинаковы в различных точках поверхности Солнца, вдоль силовых линий вытянутся неодинаково светящиеся волокна. Магнитное поле короны станет как бы видимым.

Однако, глядя с Земли на Солнце, мы не увидим спиральных волокон: наша планета расположена в плоскости этих спиралей. Ученые считают, что спиральная структура магнитного поля возникает в плоскости, перпендикулярной оси вращения Солнца, именно благодаря его вращению. Возникает вопрос: всегда ли наружные слои Солнца вращались вокруг теперешней оси? Если предположить, что нет (хотя какими-либо указаниями на это наука не располагает), то люди могли во время затмения увидеть изогнутые волокна, исходящие из Солнца. Эта картина — затемненный диск Солнца и светящиеся искривленные лучи — показалась бы солнцепоклонникам сокровенным ликом божества. Такое должно было запомниться.

Вернемся, однако, к дискуссии о влиянии космических факторов на развитие земных циклонов. Предложение Вилкокса проследить за циклонами, возникшими после того, как Земля перейдет из одного сектора межпланетного магнитного поля в другой, основано на наблюдаемом факте увеличения геомагнитной активности в момент перехода через секторную границу. Ясно, что такое усиление магнитной возмущенности на Земле вызвано чисто космическими факторами и не зависит от процессов в приземных слоях атмосферы. Дискуссия подошла к решающей точке: если на циклонах сказывается переход через секторную границу, значит, космические факторы влияют на состояние приземных слоев атмосферы, если нет — результаты Робертса и Олсона ничего не доказывают.

По методике этих исследователей были проанализированы циклоны Северного полушария Земли. Оказалось, что циклоны «чувствуют» переход через секторную границу. Хайнс снял свое возражение и согласился, что в данном случае космические факторы действительно влияют на процессы в нижней плотной атмосфере.

Почему на этот раз дискуссия не потонула в ссылках на сложность и неизученность вопроса? Прежде всего потому, что у людей появилось связное представление о космосе. При доказательстве можно было опереться на знание общей картины магнитного поля в солнечном

ветре, на известное и потому прогнозируемое увеличение магнитной возмущенности при подходе Земли к границе между секторами. Все это получено благодаря систематическим исследованиям, проведенным непосредственно в космосе и на Земле. Сочетание наземных и космических средств наблюдения — чрезвычайно мощный инструмент исследования.

Вот пример. Мы только что убедились, насколько полезно использовать данные о секторной структуре межпланетного магнитного поля. Откуда же брать эти данные? Постоянное патрулирование солнечного ветра с борта космического корабля обошлось бы довольно дорого. Но природа сделала неожиданный подарок своим исследователям: оказалось, что за межпланетным полем можно следить с поверхности Земли. Обнаружено это было так. В 1965 году магнитологи супруги Л. Г. и С. М. Мансуровы заметили, что даже в магнитоспокойное время, когда самописцы магнитографов выписывают плавные кривые, вертикальная составляющая магнитного поля на поверхности Земли в полярных районах (полярнее магнитной широты 80°) оказывается в дневные часы пониженной у одного магнитного полюса и повышенной у другого. Проходит дней восемь, и картина меняется на обратную.

С чем связаны эти систематические изменения магнитного поля, тогда никто не знал. Но вскоре появились сообщения о секторной структуре магнитного поля в межпланетном пространстве — в солнечном ветре. Они были обнаружены с помощью приборов, установленных на борту космического корабля. Затем американский исследователь Л. Свалгаард и независимо от него чуть позже С. М. Мансуров показали, что изменение картины на обратную соответствует переходу Земли в другой сектор межпланетного магнитного поля. Оказалось даже, что такие изменения магнитного поля на Земле во много раз превосходят величину межпланетного поля. Эта закономерность получила название эффекта Свалгаарда — Мансурова (или Мансурова — Свалгаарда).

Открытие позволило судить не только о том, в каком секторе межпланетного магнитного поля находится Земля в настоящий момент, но и получать данные о солнечном ветре, относящиеся к тем доспутниковым временам, когда сам солнечный ветер был лишь смутной догадкой теоретиков. Эту информацию предоставили старые записи показаний наземных магнитографов.

В научных публикациях коллег довольно долго не было заметно какого-либо отклика на это открытие.

По-видимому, Мансурова это несколько смущало. Так, однажды он попросил меня завести об этом эффекте речь с Б. А. Тверским, видным теоретиком, работающим у нас в институте (сам Сергей Михайлович вместе со своей женой Лидией Георгиевной были сотрудниками Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн). Мансурова интересовало, что скажет Тверской.

Борис Аркадьевич меня выслушал, посмотрел задумчиво и произнес: «Да-а, я слышал про этот эффект». Это было все, что я смогла тогда передать Сергею Михайловичу.

Через год к этому прибавилась еще одна фраза, Тверской обронил ее, выступая на семинаре: «Вот Мансуров заметил интересный эффект...» И еще через два года — в разговоре со мной — сказал: «Я думаю об этом уже несколько лет по двенадцать часов в сутки и ничего не могу придумать». Это, конечно, была гипербола, за несколько лет Тверской получил много важных результатов. Но был в его словах и прямой смысл: все размышления о магнитосфере так или иначе затрагивают проблему воздействия на нее солнечного ветра, а эффект Свалгаарда — Мансурова как раз проявление такого воздействия.

Так что отсутствие реакции со стороны научной общест-венности вовсе не было связано с сомнением в правильности полученных результатов. Просто требуется время, чтобы каждый исследователь так или иначе смог вписать новый эффект в собственную картину мира. Обнародовать же просто свою эмоциональную реакцию в науке не принято (возможно, поэтому очень редко можно услышать, как слушатели аплодируют докладчику после выступления на научном семинаре или конференции) Лишь года через четыре имена Мансурова и Свалгаарда записали на страницах журналов.

Теперь, когда нужно описать космический фон какого-либо явления, приводят магнитограмму станций Восток (в Антарктиде) или Туле (Гренландия), широта которых примерно 89° . Чем выделены эти магнитные широты? На Земле — ничем. Но их выделенность станет понятной, если вспомнить строение магнитосферы Земли (см. рис. 3). Силовые линии магнитного поля, пронизывающие по-

верхность Земли в низких и средних широтах, имеют дипольный характер, два пучка высокоширотных линий образуют хвост магнитосферы. Граница раздела между дипольными линиями и линиями, уходящими в хвост, на поверхности Земли с ее дневной стороны соответствует широте примерно 80° . Полярнее этой области лежит станция Туле в Северном полушарии, Восток — в Южном. Заметим, кстати, что вся эта геометрия магнитосферы выявилась лишь благодаря запускам космических аппаратов. Если бы мы были вынуждены обходиться только наземными наблюдениями, то утверждение, что в некоторой точке Земли в определенное время суток можно по показаниям обычного обсерваторского магнитографа судить о межпланетном магнитном поле — таком слабом и таком далеком от нас, — казалось бы столь же сомнительным, какими кажутся порой утверждения сторонников гелиогеофизики. А рекомендация отправиться для наблюдения за 80 -й градус широты и дожидаться там околополуденных часов отдавала бы чистым кладоискательством.

Разглядывая магнитограммы, снятые в различных точках Земли, можно заметить, что в некоторые промежутки времени, длящиеся по нескольку дней, многие станции регистрируют уменьшенную величину магнитного поля. Это периоды магнитных бурь. Так же как и переход Земли через секторную границу, их удобно использовать в качестве космических меток времени при изучении солнечно-атмосферных связей. Мы знаем уже, что бури начинаются, когда Земля встречает быстрый по сравнению с обычным солнечным ветром поток солнечной плазмы.

Есть два сорта таких потоков.

Одни выбрасываются Солнцем при вспышке и всегда неожиданны. Но мы почти сразу узнаем, что такая вспышка произошла. Известие о ней приносит электромагнитное излучение Солнца, оно доходит до Земли за $8,3$ минуты. Тогда-то и видит земной наблюдатель, что на диске Солнца вспыхнула точка. Коротковолновая часть этого излучения, разрушая встреченные нейтральные частицы верхней атмосферы, приводит к появлению дополнительных зарядов в ионосфере. Уменьшается ее электрическое сопротивление и увеличивается текущий через нее ток. Его чувствуют земные магнитографы. Вспышку замечают также радисты: из-за изменения состояния

ионосферы ухудшается связь на коротких волнах на освещенной стороне Земли. Это все предвестники будущих событий. Они начнутся через один-два дня, когда к Земле подойдет солнечная плазма, выброшенная в момент вспышки. Быстродвижущаяся плазма (точнее, ударная волна, которая бежит перед ней, — волна, подобная той, что движется перед самолетом, летящим быстрее звука, и воспринимается на земле как орудийный выстрел) обжимает магнитосферу Земли. Сжимается магнитосферная плазма, гуще становятся «вмороженные» в нее силовые линии магнитного поля; ясно, что в этот момент магнитографы на Земле должны регистрировать увеличение магнитного поля. И в самом деле, они отмечают его практически одновременно. Последует за этим магнитная буря или нет — тонкий вопрос, на который пока нет внятного ответа. Она начнется, если разразится серия суббурь, но почему случаются суббури, определенно мы сказать еще не можем. Но если буря состоится, отличительным ее признаком будет внезапное увеличение магнитного поля вначале, которое уже потом сменится его глобальным понижением.

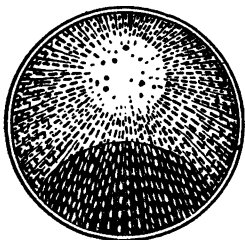
Другой тип высокоскоростных потоков — это мощные струи в солнечном ветре, которые истекают из определенных областей на Солнце. Такая область может существовать несколько месяцев, и поскольку Солнце оборачивается вокруг своей оси, примерно каждые 27 дней Земля входит в одну и ту же струю. Поэтому характерным признаком бурь, порожденных такими потоками, является их 27-дневная повторяемость.

Так как магнитные бури легко опознаются на магнитограммах, можно привлечь старые магнитные записи и сопоставить с ними данные о состоянии атмосферы за прошедшие годы. Это сильно расширяет диапазон исследований. Такая работа была проделана членом-корреспондентом АН СССР Э. Р. Мустелем и его сотрудниками.

Оказалось, что через два—четыре дня после начала магнитной бури того или другого типа давление на поверхности Земли начинает меняться характерным для циклонов образом. Это служит признаком развития внутренних неустойчивостей в атмосфере. Такой результат согласуется с представлением о космическом воздействии как о спусковом крючке, разрешающем внутренне напряженные состояния атмосферы. В этих работах

исследовано большое количество событий, и потому выводы их не могут быть случайными. Они говорят о том, что солнечно-атмосферные связи реально существуют.

11. ПОДРОБНОСТИ



...Каждая подробность имеет смысл,
логику, выразительность...

Г. Нейгауз. Об искусстве фортепианной игры

Теперь, когда ясно, что солнечно-атмосферные связи существуют, становятся интересными их свойства. Имеет смысл просмотреть заново, без предубеждения и более непосредственно, работы предыдущих поколений гелиогеофизиков. Какой характер солнечно-атмосферных связей прорисовывается в их, пусть и разрозненных исследованиях? Прежде всего, эти связи часто оказываются региональными, то есть проявляются определенным образом в одних районах Земли, действуют совершенно иначе в других и полностью отсутствуют в третьих. Им свойственна изменчивость во времени: замеченный в одном районе Земли характер связи вдруг может резко измениться на противоположный; кроме того, со временем эта связь может исчезнуть вовсе. Об этих же особенностях связей, но более конкретно, говорят современные исследования.

Уже знакомый нам космофизик Робертс недавно исследовал с гелиогеофизической точки зрения региональную закономерность — повторяемость засух в американском штате Канзас. Это важный сельскохозяйственный район страны, гибель урожая в нем — весьма заметное событие. Запись аномально засушливых лет ведется здесь давно. И вот о чем она говорит: уже более 150 лет засухи в Канзасе повторяются через 20—22 года. Ро-

бертс проанализировал эти данные, сопоставив их с солнечной активностью.

Что же именно меняется на Солнце с периодом в 22 года? Мы уже говорили, что о частоте и мощности солнечных вспышек, а также о степени развития некоторых других процессов на Солнце можно судить по числу пятен на его диске. Путем наблюдения за их числом был открыт 11-летний цикл солнечной активности. Но оказывается, есть признак, который делает похожими друг на друга не все циклы, а выбранные через один. Иными словами, если мы всем циклам дадим порядковые номера, то по этому признаку нужно будет сгруппировать отдельно все четные и все нечетные циклы. Признак этот — магнитные полярности пятен.

Поговорим об этом поподробнее.

Пятна не разбросаны по диску Солнца как попало. Чаще всего они бывают собраны в так называемые биполярные группы. В каждой такой группе есть два самых крупных пятна, окруженных более мелкими. Солнце вращается, и земному наблюдателю кажется, что пятна движутся по солнечному диску. В целом группа пятен вытянута более или менее параллельно солнечному экватору, поэтому одно из главных пятен как бы шествует впереди, а другое следует за ним. Их так и называют: одно предшествующим, головным или ведущим, другое последующим или хвостовым. Как правило, головное пятно бывает самым большим. Хвостовое поменьше, вместо него иногда виден просто сгусток мелких пятен.

Все без исключения пятна «намагничены»: это места, где наблюдаются самые сильные на Солнце магнитные поля. Теперь вообразим, что мы взяли подходящих размеров подковообразный магнит и погрузили его в солнечное вещество так, чтобы наружу выглядывали только концы — полюса магнита, причем выглядывали в тех самых местах, где находятся головное и хвостовое пятна. Не пускаясь в рассуждения о том, что делается внутри Солнца, скажем, что магнитное поле, которое наш магнит создает вблизи солнечной поверхности, похоже на поле биполярной группы. Потому ее и называли биполярной, что в ней имеются два магнитных полюса.

Оказывается, в расположении солнечных «магнитов» существует закономерность, которая очень хорошо выдерживается. В течение всего 11-летнего цикла, от минимума до минимума, то есть от появления первых пятен и до

исчезновения последних, по одну сторону от солнечного экватора все головные пятна групп имеют одну и ту же магнитную полярность, а по другую сторону — противоположную. Ясно, что полярность хвостовых пятен данного полушария совпадает с полярностью головных пятен другого. Когда же вслед за периодом затишья, солнечного минимума, когда пятен на Солнце почти не бывает, зарождается новый цикл, оказывается, что солнечные полушария поменялись ролями: в каждом полушарии головные полярности стали хвостовыми. И так будет до следующего минимума.

Подобным же образом меняется от цикла к циклу знак слабых фоновых магнитных полей вблизи солнечных полюсов.

Вот почему каждый очередной солнечный цикл повторяет не предыдущий, а предпредыдущий: для того чтобы вновь увидеть Солнце не только таким же запятанным, как сейчас, но и с таким же магнитным полем, нам нужно подождать 22 года.

Таким образом, картина магнитного поля Солнца и засухи в Канзасе повторяются в среднем с одним и тем же периодом 22 года. Пока это ничего не доказывает и говорит лишь о совпадении чисел. Разных величин люди измеряют много, и мало ли какие совпадения бывают «в среднем»? Но, следуя Робертсу, попробуем рассмотреть процесс не в среднем, а в деталях, сопоставив отдельные события. Прежде всего, выражения типа «в следующем 11-летнем цикле» употребляются лишь для краткости, буквально их понимать нельзя. 11 лет — это средняя продолжительность цикла, каждый же конкретный цикл имеет свою длительность. Самый короткий из известных людям цикл тянулся 7,5 года, самый долгий — 16 лет. Можно сказать, каждый цикл имеет свое лицо. Тем не менее анализ Робертса показал, что каждая из известных канзасских засух одинаковым образом вписывается в свой солнечный цикл. Они случались всегда через один минимум числа пятен на следующий, независимо от длительности цикла (рис. 9). Это уже не выглядит случайным совпадением.

Но для одних людей «не выглядит», а для других может и «выглядеть» — где мера похожести?

В истории науки есть такой пример. Как только в середине прошлого столетия на материале 22-летних наблюдений был установлен 11-летний цикл изменений ко-

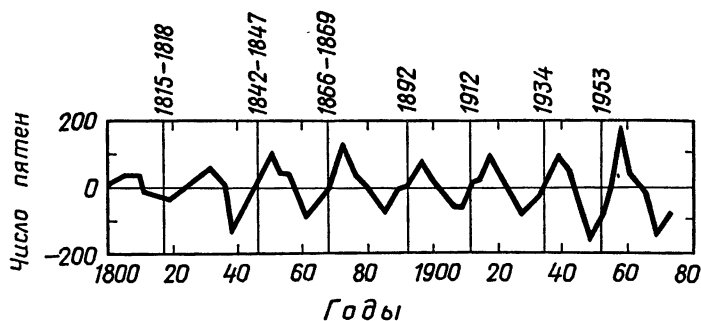


Рис. 9. 22-летний цикл солнечных пятен и засухи в Канзасе.

По горизонтальной оси отложено время, по вертикальной — число солнечных пятен, взятое со знаком плюс или минус в зависимости от направления солнечных магнитных полей в данном 11-летнем цикле. Годы засух (подписанные вверх) отмечены вертикальными линиями

личества солнечных пятен на Солнце, сразу же появилось сообщение, что, судя по записям величины магнитного поля на Земле, его возмущенность меняется со временем так же, как и число солнечных пятен на Солнце. Это была первая замеченная солнечно-земная связь. Выдающийся физик Томсон (лорд Кельвин, ему мы обязаны открытием абсолютного нуля температуры) в 1892 году в своем обращении к лондонскому Королевскому обществу, президентом которого он в то время состоял, объявил эту одинаковость временного хода простым совпадением. Он утверждал это на основании безукоризненно выполненного им расчета.

Заметим, что Кельвин был человек наблюдательный. Интересна его оценка положения в физике накануне великого переворота в ней, где он с удивительной проницательностью отметил явления, выпадающие из общей картины. Академик И. Е. Тамм писал об этом: «К концу прошлого века среди физиков распространилась известная самоуверенность и самодовольство — преобладало мнение, что основные физические закономерности уже выяснены, остались доделки — пусть существенные, но все же не выходящие за рамки твердо установленных основ. Такой выдающийся физик, как В. Томсон, выступил именно с такого рода заявлением в речи, произнесенной им при наступлении нашего столетия. При этом он, правда, оговорился, что на ясном и спокойном физичес-

ком небосклоне пока еще не рассеялись два облачка — одно, связанное с опытом Майкельсона, другое — с так называемой ультрафиолетовой катастрофой, возникающей при рассмотрении теплового равновесия между веществом и излучением. Из первого «облачка» возникла впоследствии теория относительности, из второго — квантовая теория».

Но в вопросе о солнечно-земных связях В. Томсон был не прав. Шли годы, и цикл за циклом обе величины продолжали меняться одинаково. Эта согласованность стала общепризнанной, хотя результат Кельвина, следовавший из его расчета, никем опровергнут не был.

Мы гордимся своей наукой, логической неизбежностью ее выводов. Но логика начинается с предпосылок, рассуждений или расчетов, а предпосылки — это и мировоззрение, и ограниченность современной науки и техники, и чересчур общее, усредненное, грубое представление о предмете. Поэтому выводы физики не абсолютны. И теперь мы знаем, почему не подтвердился строгий расчет Кельвина. Ученый исходил из представления о пустом пространстве между Солнцем и Землей, на самом же деле это пространство заполнено плазмой солнечного ветра. О его существовании Кельвин не знал. Чтобы выявить солнечный ветер, потребовались десятилетия развития науки и космическая техника.

В данном случае для нас интересен не результат, а сам ход этой давней дискуссии: как убедить сомневающихся, что подмеченное согласованное изменение величин не есть просто случайное совпадение. Очевидно, это можно сделать, прогнозируя будущее на основе цикличности, установленной для прошлого.

Последняя засуха, из числа проанализированных Робертсом, относилась к 1953 году. Так как последние двойные циклы были несколько короче 21 года, следующую засуху надо было ожидать в 1973 году. Робертс предсказал, что она должна случиться с запозданием — таков был временной ход, так сказать, физиономия текущего цикла солнечной активности. Активность, как ей и полагалось, шла к своему минимуму, но неожиданное ее увеличение в 1972 году, о котором мы уже говорили, задержало выход на минимум. Соответственно, по предсказанию Робертса, откладывалось и наступление засухи. Засушливый период действительно наступил с опозданием: солнечная активность достигла наконец мини-

му в 1975—1976 годах, а ожидаемая жестокая засуха разразилась в 1976—1977 годах. Успех предсказания Робертса сильно поднял авторитет гелиогеофизики.

В прошлом гелиогеофизикам особенно сильно доставалось за то, что объект их исследования — солнечно-атмосферные связи — так непостоянно ведет себя во времени.

Современные материалы говорят об очень интересном характере этой изменчивости: сопоставим, например, количество осадков в Северной Америке и так называемое нормализованное число солнечных пятен. Его подсчитывают таким образом: делят разность между числом пятен в год ближайшего максимума и в исследуемом году на разность между числом пятен в годы ближайших максимума и минимума, результат умножают на 100. Введение такого нормализованного числа пятен позволяет стандартизировать данные об активности Солнца в разных циклах, поскольку величина этого числа в год максимума всегда равна 100, а в год минимума — нулю. Заметим, что необработанная характеристика солнечной активности — просто число пятен на год максимума (и минимума тоже) — меняется от цикла к циклу.

Изменение со временем количества осадков удивительно похоже на изменение нормализованного числа пятен на Солнце. Чтобы было ясно дальнейшее, надо остановиться на смысле слова «похоже». Похожесть может быть разная. Например, человек похож на своего брата-близнеца. Это один тип. Но тот же человек походит и на свое отражение в зеркале, хотя в зеркале он выглядит, как левша, да и какой-нибудь шрам, если он есть, переместится с одной стороны лица на другую. Пусть это будет вторым типом похожести. Наконец, можно сфотографировать брата-близнеца, затем самого человека, фотографии разрезать по оси симметрии и склеить вместе половинки разных фотографий. Человек будет похож на получившееся изображение. Это третий тип, и так далее. Во всех случаях сходство не вызовет сомнений.

Так вот, временной ход количества осадков и нормализованного числа солнечных пятен по-разному похож на различных географических широтах. Кривые, изображающие эти величины в период 1910—1960 годов на широтах 70—80°, похожи друг на друга почти как копии одна другой. На широтах 60—70° в 1885—1960 годах одна кривая является как бы зеркальным отражением другой (то есть

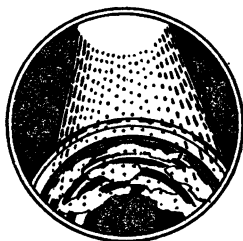
когда одна величина убывает со временем, идет возрастание другой).

Неодинаковое проявление солнечно-атмосферных связей в близких географических районах нам уже знакомо. Сейчас нас интересует их изменчивость со временем. Она обнаруживается в данных для широт $50-60^\circ$ за время с 1890 по 1960 год. В течение первых двух циклов солнечной активности кривые были зеркальным отражением одна другой, затем стали «копиями» друг друга. Это очень показательно: изменчивость солнечно-атмосферных связей оказывается здесь выразительным переходом от одного упорядоченного типа изменения к другому. Это вовсе не похоже на то хаотическое разрушение замеченных связей, которое выявляется при более длительном наблюдении и всегда указывает, что мы видим закономерность там, где ее на самом деле нет!

Итак, солнечно-атмосферные связи оказываются не такими уж капризными, несмотря на свою региональность и изменчивость во времени.

На какие только неожиданности не наталкиваются порой исследователи солнечно-атмосферных связей! Недавно Вилкокс с сотрудниками попытался продолжить работу по изучению зависимости силы циклонов от магнитных возмущений, связанных с прохождением секторной границы межпланетного магнитного поля. И вдруг... Оказалось, что в последние годы эффект либо совсем не обнаруживается, либо проявляет себя очень нечетко. В чем дело? Опять изменчивость? Изменчивость одной из фундаментальных закономерностей в солнечно-атмосферных связях? Нет, все проще. В эти годы центр геофизических данных перешел на новую систему хранения информации. Поскольку часто бывают нужны данные, усредненные по каким-то промежуткам времени, сглаженные, хранители архивов непосредственный наблюдательный материал подвергли предварительной обработке — сглаживанию и только после этого внесли их в архив. В результате исследуемый эффект потерялся, вместе с водой выплеснули и ребенка. Это неудивительно. Вспомним результат Э. Р. Мустеля и его сотрудников: после значительных возмущений космоса — магнитных бурь — давление на Земле начинает меняться более замысловато, чем обычно. А любое сглаживание — это упрощение.

12. ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ



Мудра природа. Но, глядишь, и с нею
Случается припадочная блажь.
А. Лядов. Среда обитания

— Даже летом, отправляясь в вояж, бери с собой что-либо теплое, ибо можешь ли ты знать, что случится в атмосфере? — наставляет трезвомыслящий Козьма Прутков.

В погоде людей всегда больше интересуют отклонения от нормы, чем сама норма. Это и понятно: к суточным и сезонным изменениям погоды, к типичным ветрам давно приноровились и люди, и природа. Эти нормальные условия для окрестностей Москвы, например, таковы, что к северу от нее тянутся еловые леса, а к югу — березовые, и факт этот не вызывает большого общественного интереса. Но всех волнует, почему в 1972 году эти елки и березы гибли от засухи и пожаров, а в 1976 году лес стал похожим на болото?

У отдельного человека этот интерес может быть лишь проявлением любознательности: развитая цивилизация защищает его от бедствий из-за капризов погоды. Иной интерес к погодным аномалиям у государства. В идеале любой план экономического развития непременно должен учитывать погодные факторы. Влияние погоды сказывается на потреблении энергии, на сроках сельскохозяйственных работ, от нее зависит бесперебойность и безаварийность работы транспорта. Например, подсчитано, что ежегодные потери из-за плохой погоды в строительной индустрии США составляют 3 миллиарда долларов. Если заранее знать о надвигающейся погодной аномалии, можно сильно сократить разные непроизводительные затраты.

Коль скоро погодный стандарт определяется постоян-

ным излучением Солнца, умеренные отклонения от стандарта (тоже привычные) — неодинаковым нагреванием неоднородностей поверхности Земли, то кажется естественным предположить, что резкие отклонения от стандарта связаны с изменениями состояния Солнца — солнечной активностью. Заметим, однако, что и на самой Земле идут процессы, которые в принципе могут стать причиной появления резких погодных аномалий. Это изменения количества снега и льда (особенно на континентах), температурные колебания поверхностных слоев воды в океане и тому подобные явления. Все они медленны по сравнению с переменами в неспокойной атмосфере. Они могут накапливать и затем отдавать энергию по своим законам, неожиданно для тех, кто наблюдает лишь атмосферу.

Влияние этих важнейших факторов только начинают учитывать.

Наука же о солнечно-атмосферных связях переживает сейчас тот этап своего становления, когда наблюдениями доказано их реальное существование, идет накопление фактов, но не создана еще теория, объясняющая их. Неизвестны конкретные механизмы солнечно-атмосферных связей. В самом деле, как представить себе эту «гомеопатию»: малые причины — большие следствия?..

Энергия, которую вносят в атмосферу космические процессы, ничтожна по сравнению с энергией обычных атмосферных движений — тех, что изучаются традиционной метеорологией. Однако не всякое следствие определяется прямым приложением, так сказать, грубой силы. Пример тому — управление, по существу подача очень слабого, но правильно нацеленного сигнала. Слабого по сравнению с мощными внутренними силами, которые обеспечивают выполнение «команды».

Механизм управления в принципе может быть очень прост. Представим себе бумажную полоску. Если натянуть ее как следует, она лопнет. Но если предварительно надрезать или надорвать бумажку, она лопнет именно в этом, заранее заданном месте: известно, где тонко, там и рвется.

Интересная аналогия есть в науке о землетрясениях. В Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта разработана физическая модель землетрясения. Исследователи в лаборатории наблюдали за разрушением модельных об-

разцов и изучали явления, ему сопутствующие. Особое внимание уделяли они росту микротрещин, их накоплению и взаимодействию. Когда ученые сопоставили лабораторные наблюдения с тем, что бывают при землетрясениях, оказалось, что картины весьма схожи. Землетрясение — катастрофа, ее создают колоссальные подземные силы. Но места разрыва земной поверхности этими силами определяют микротрещины, а значит, те слабые процессы, которые, действуя достаточно долго, создают эти микротрещины.

Они-то и задают направление удара.

А возможно, не длительность играет роль, а то, что процессы эти действуют на большой территории. Вот что говорит об этом директор Института физики Земли академик М. А. Садовский: «Еще недавно мы более чем скептически относились, например, к идеям о возможности влияния на земные процессы космических факторов, солнечной энергии. Мы полагали: ничтожные добавки, вносимые космосом в огромные энергии, которые накапливаются в очаге землетрясения, не могут никак повлиять на развитие сейсмической катастрофы...

Резкий порыв солнечного ветра — потока заряженных частиц от Солнца — возбуждает в ионосфере магнито-гидродинамические волны, которые, в свою очередь, переходят в атмосферные волны малой амплитуды, устремляющиеся к поверхности Земли. Влияние этих волн, действующих на огромной площади, на неустойчивое равновесие сейсмического очага в тот момент, когда землетрясение вот-вот произойдет, едва ли возможно сейчас отрицать категорически».

Одна интересная идея, касающаяся механизма солнечно-атмосферных воздействий, связана с изменениями атмосферного электричества. Скопление электрического заряда в воздухе может, как известно, привести к грозе. Приведет или нет — это зависит от условий растекания зарядов, то есть от проводимости окружающей среды и картины электрических полей в ней. На эту электрическую обстановку могут влиять космические процессы. Быстрые космические частицы — настолько быстрые, что, пробивая воздушную толщу, достигают нижней стратосферы, — приводят к появлению в ней свободных заряженных частиц, а это увеличивает проводимость воздуха. Что же касается картины электрических полей, то она сильно зависит от поведения ионосферы — ближайшей к

нам области космоса, важного узла космического телевизора.

Замечательно, что сами полярные сияния чувствуют на себе влияние электрической обстановки вблизи поверхности Земли. Как писал еще Ломоносов, «из примечаний по Сибири» (то есть из того, что люди примечали в Сибири) известно: «В местах, ближе к морю лежащих, чаще бывают северные сияния, а на самых берегах видные во всякую ночь беспрестанно». Во всякую — это преувеличение, но линия побережья действительно привлекает полярные сияния. Береговой эффект был отмечен русским полярным исследователем Ф. П. Врангелем в 20-х годах XIX века как повышенная частота появления полярных сияний вблизи берега. Впоследствии было установлено, что сияния над морем обладают большой подвижностью, высота их вблизи берега минимальна и возрастает в обе стороны от него.

Полярные сияния — дети космоса, изображения на экране космического телевизора. Что им до линии морского побережья на Земле? Разве для артиста (точнее даже — для его электронной тени), лицедействующего на экране домашнего телевизора, не все равно, как расставлена мебель в комнате, где мы сидим и смотрим передачу? Однако полярные сияния «чувствуют» морской берег, и специалисты объясняют это различием электрического сопротивления воды и суши.

Наблюдения подтверждают наличие связи между «электрической обстановкой» на Земле и космосом. Изучение этой связи ведут на научно-исследовательской станции в ФРГ, расположенной в горах на высоте 3000 метров. Там регистрируют напряженность электрического поля и плотность электрического тока, уходящего вверх. Но наблюдения эти требуют тщательности — не должны вмешиваться местные грозообразующие процессы. Поэтому выбирают совершенно ясную погоду, поэтому нужна большая высота — станция должна быть выше слоя, где воздух сильно перемешивается, увлекает снег или пыль в вихревые движения и при этом электризуется. Но сети станций, ведущих такие наблюдения, и тем более сети планетарной, пока нет. А ведь в окрестностях Земли все явления разыгрываются согласованно!

Даже за грозами — самыми яркими проявлениями атмосферного электричества — следят еще в очень ограниченных масштабах. И здесь большие надежды возла-

гаются на наблюдения со спутников. Грозы хорошо видны из космоса. Вот что пишет космонавт Г. М. Гречко: «Электрические разряды в атмосфере создают яркие области на облачном покрове и в случае интенсивных грозовых процессов в атмосфере могут наблюдаться на разных участках подстилающей поверхности почти без пауз. Сами молнии видны относительно редко, так как разряд происходит под облаками. Интенсивность вспышек настолько велика, что уверенно наблюдаются отблески на элементах конструкции станции. Грозовые явления могут наблюдаться одновременно на территории порядка 10^7 км², что позволяет искать их общие закономерности. Безусловный интерес представляет оценка интенсивности грозовых процессов по частоте вспышек в различных географических районах при различных метеорологических условиях...»

И другой смысл приобретает одна давняя история. Мы знаем: Ломоносов понял, что по своей физической сути свечение неба при полярных сияниях и газовый разряд есть одно и то же явление. Понял, что полярные сияния горят выше атмосферы. Но в вопросе о происхождении полярных сияний великий ученый заблуждался и считал, что «электрическая сила, рождающая северное сияние», возникает в атмосфере из-за трения воздушных потоков друг о друга.

Однако и во времена Ломоносова уже были указания на космическое происхождение полярных сияний, и ученый знал об этом. В набросках его предсмертной монографии по сияниям есть пункт: «Меран о солнечной атмосфере». Французский ученый Ж. Ж. де Меран объяснял сияния действием солнечной атмосферы на земную (очень близко к идее солнечного ветра, не правда ли?). И объяснение это было не на пустом месте. Мы уже говорили, что де Меран обнаружил замечательный факт: среднее число мощных сияний меняется так же, как среднее число солнечных пятен. Космос отчетливо заявлял о себе!

Почему же все-таки Михаил Васильевич держался другой, ошибочной точки зрения? Мне кажется, дело здесь вот в чем.

Независимость его суждений известна. Она видна и в делах научных. Он ценил факт, мог, так сказать, непосредственно реагировать на него, прекрасно отличал факты

от суждения о них. В его времена электрические явления объясняли свойствами особой жидкости — эфира. Провозглашая сходство сияний и лабораторного электрического разряда в газе, Ломоносов отмечал: «Все рассуждения, которые ясного и подробного познания об эфире требуют, без погрешения здесь мимо пройти можно». Ушли в прошлое и теперь представляют лишь исторический интерес все рассуждения об эфире, остался вывод Ломоносова об одинаковой физической природе свечения неба и газового разряда.

Михаил Васильевич был очень наблюдателен. Это особенно чувствуется, когда смотришь его труды теперь, располагая общей картиной полярных сияний. Мы сейчас знаем о существовании аврорального овала, знаем его обычное расположение — так сказать, на глобусе, знаем, какие формы сияний типичны для разных частей овала. Что из всего этого мог видеть Ломоносов, «жив до возраста в таких местах, где северные сияния часто случаются», — в Холмогорах? Как мы уже говорили, овал в своем обычном состоянии неоднороден: в его вечерней части горят ровным светом правильные дуги, в утренней — отдельные размытые пятна, в ночной — сияния вспыхивают, переливаются, имеют беспорядочный вид. Из-за суточного вращения Земли овал так движется над земной поверхностью, что подходит к Холмогорам лишь своей ночной частью, причем с севера. А вот что пишет Ломоносов о своих детских и отроческих наблюдениях: «Сколько могу себе представить, заподлинно уверяю, что в оном климате около 64 градусов северные сияния бывают непорядочные (неправильной, изменчивой формы. — Л. А.) и не могу вспомнить, чтобы когда я видел хотя мало регулярную (правильную. — Л. А.) дугу на севере или на полудне, но по большей части бывают всполохи наподобие зарницы или столбов и лучей весьма переменных; второе, хотя всполохи бывают по всему небу, однако больше на севере». Все точно.

Но что это такое в его следующей фразе: «Сияния чаще случалось видеть в ветреную погоду сквозь прерывистые облака»? Я уже писала о работах члена-корреспондента АН СССР Э. Р. Мустеля и его сотрудников: в те периоды, когда идут магнитные бури, то есть когда сияния становятся частыми и сильными, давление воздуха на поверхности Земли более изменчиво, чем обычно. А значит, должны дуть порывистые ветры... Эта фраза

Ломоносова — как иллюстрация к работе исследователей, наших современников.

И все это при словах: «Не без сожаления вспоминаю, что не мог пользоваться внимательным наблюдением разных перемен и обстоятельств, бывающих при таких явлениях». Как видно из его следующих замечаний, у его земляков такие наблюдения за явлением «повседневным», как выражается Михаил Васильевич, для крестьянского мальчика считались непозволительной тратой времени.

Очень точно фиксировал Ломоносов виденное, и не ускользали от его внимания важные детали. А раз так, задумаемся над такой фразой его научной работы о полярных сияниях, которые он изучал уже будучи взрослым — в Петербурге: «Из моих наблюдений... оказалось, что в начале осени и в конце лета, тяжкого многократными грозowymi тучами, чаще северные сияния являются, нежели по иных летах». В выводах современных исследователей проступает связь электрического поля в нижней атмосфере с состоянием космоса, а полярные сияния непосредственно отражают это состояние. Не навела ли эта подмеченная связь — как мы теперь понимаем, связь между космосом и атмосферой — его на мысль о земной причине полярных сияний? И вполне возможно, что вместе с ошибкой он сделал «преждевременное» открытие.

Космос — Земле. Земля — космосу. Всякий раз, когда обсуждаются эти проблемы, возникает ощущение, что недостаточно знаем мы свою Планету Людей. Эта неполнота знаний, возможно, и мешает выявить механизм солнечно-атмосферных связей. Выявить механизм — значит проследить в деталях всю цепь событий, которые приводят к интересному для нас следствию. Какие именно события следует принимать во внимание, подсказывает эксперимент. Но порой он указывает на явление, которое само еще не расшифровано наукой, и поскольку неясно, как работает данное звено, невозможно представить себе механизм в целом. Некоторые из этих явлений интересны сами по себе, безотносительно к проблеме солнечно-атмосферных связей. Здесь мы расскажем о двух таких, возможно, ключевых явлениях: о земном циклоне и о неизвестном еще космическом факторе, приводящем к опережению солнечных явлений метеорологическими.

13. ОТКУДА БЕРУТСЯ ВИХРИ!



Ю ж н ы й у р а г а н

Я — тайна большая:

Храню, разрушая.

Козьма Прутков. Средство мировых сил

Наблюдения показывают, что циклоны имеют отношение к проблеме солнечно-атмосферных связей. Как мы видели, изучение циклонов, о которых велась дискуссия между Робертсом, Вилкоксом, Хайнсом и другими, принесло гелиогеофизике первый серьезный успех. Засухи и избыточное количество осадков тоже можно связать с поведением циклонов, так как именно с приходом циклонов, как обычно говорят, устанавливается плохая погода.

Давно выявлены те районы нашей планеты, где циклоны зарождаются чаще всего. Оттуда они начинают свое движение и проходят порой огромные расстояния. Так, штормовые циклоны Западной Европы нередко приходят из тропиков. Сначала они идут вдоль берегов Северной Америки, потом пересекают Атлантический океан.

Часть из них движется потом по Европе. Русло Невы расположено вдоль обычного пути следования циклонов, и ленинградские наводнения связаны с их приходом. Так, в конце 1982 года мощный циклон зародился над Северной Америкой, прошел через южную часть Гренландии, Исландию, Скандинавию и обрушился на Балтику. У входа в Финский залив ураганный ветер поднял длинную нагонную волну, которая, разрастаясь и взламывая ледяной покров, двинулась на город. Вода поднялась на 215 сантиметров выше ординара. Приступ стихии завершился зимней грозой. Под раскаты грома ослепительные вспышки молний пронзали белую

пелену густого снегопада. Это наводнение по счету 251-е за историю города на Неве. Между прочим, основатель города Петр Первый специальным указом запретил строить мосты через Неву (первые мосты появились только после его смерти): он хотел, чтобы россияне привыкали к морскому делу! Можно представить себе, что за условия для судоходства на Неве, когда циклоны гонят воду вспять...

Пройдя Финский залив и Неву, некоторые циклоны идут еще дальше и добираются до Сибири. И вот оказалось, что пути следования зимних циклонов в северо-восточной Атлантике и Европе в годы минимума солнечной активности и в годы ее максимума отличаются друг от друга. Возможно, это наблюдение дает ключ к пониманию региональности солнечно-атмосферных связей. В самом деле, отклонение циклона от преимущественного среднего пути приводит к недостатку влаги вдоль этого пути и отражается на состоянии живой природы, которая приспособилась к средним, обычным условиям. Но циклон не пропал: он ушел и унес влагу в другое место — там выпадет избыточное количество осадков.

Таким образом, одно и то же изменение солнечной активности приведет к уменьшению количества осадков в одном месте, его увеличению в другом, и никак не скажется в остальных районах планеты. Очевидно, такой же мозаичный характер должна иметь и реакция растительности на изменение солнечной активности. В работах основоположника гелиобиологии А. Л. Чижевского встречается утверждение, что более широкие годовые кольца на срезе дерева соответствуют периодам максимальной солнечной активности. Более поздние исследования показали и прямо противоположное, на основе этого иногда подвергалась критике гелиобиология вообще. Последние исследования говорят о том, что эти результаты не являются взаимно противоречивыми, просто каждый занимает свое место в общей картине. Сотрудники Воронежского лесотехнического института нашли, что здесь мы имеем дело с гелиобиологической связью через погоду: деревья просто-напросто реагируют на избыток или недостаток влаги. Поэтому в разных географических районах эта закономерность выглядит по-разному. Более того, она даже разная для различных пород деревьев.

Что же представляет собой циклон? Отдельный наблюдатель воспринимает его как ветер, зачастую очень

сильный. Воистину страшным бывает он в циклонах, зарождающихся вблизи экватора, — в так называемых тропических циклонах (они же ураганы или тайфуны). Флоридский ураган 1935 года нес, например, песок с такой скоростью, что с людей на пляже сдиралась вся одежда и кожа, на трупах оставались только кожаные пояса и ботинки.

Циклон — это гигантский атмосферный вихрь, воздух в нем вращается. Представление о том, что сильный ветер есть вихрь, по-видимому, бытовало у многих народов; об этом говорят спирали, украшающие различных богов бурь.

Для науки вихревой характер урагана был открыт ученым-любителем У. Редфилдом, содержателем небольшого магазина в штате Коннектикут (США). Энтузиаст науки, он с детства интересовался морем и штормами. В 1821 году, объезжая после шторма штат, он обратил внимание на поваленные ветром деревья. В одном месте деревья лежали верхушками к северо-западу, тогда как на некотором расстоянии верхушки указывали противоположное направление. Отсюда Редфилд сделал вывод, что шторм представляет собой вращательную систему ветров. Затем на протяжении нескольких десятилетий он анализирует судовые журналы, беседует с капитанами и владельцами кораблей, собирает и обобщает все доступные ему сведения. Редфилд установил, что все ураганы движутся вперед с переменной скоростью, их траектории имеют много общих черт, что направление вращения ураганов одинаковое (теперь мы знаем, это относится к одному полушарию Земли, по другую сторону экватора направление вращения противоположное). Под влиянием работ Редфилда в исследование ураганов включились многие его современники. Часто это были люди, по первоначальной профессии очень далекие от метеорологии — военный инженер, военный хирург и т. д., но имевшие случай наблюдать лично ураганы или их последствия. Превращение привычного неощутимого воздуха в грозную разрушительную силу, сосредоточенную на сравнительно небольшой территории, производило такое впечатление на этих исследователей и так мобилизовало их творческие силы, что им удалось привести в систему массу сведений и создать книги, не потерявшие своей ценности и до наших дней. Один из них и окрестил закрученный ветер циклоном (от грече-

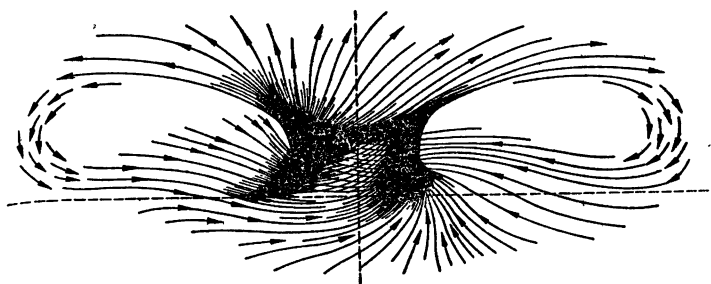


Рис. 10. Схема тропического циклона (урагана)

ского слова, означающего «колесо, круг, кольца змеи»).

Для всех приземных циклонов характерен один и тот же «джентльменский набор» свойств. Давление в них понижается от периферии к центру, к центру же по спирали течет воздушный поток (рис. 10), в центральной части развивающегося циклона образуется мощная облачность и выпадают осадки. Вращение циклонов Северного полушария идет против часовой стрелки, Южного — по часовой. Кроме того, тропический циклон, ураган, имеет так называемый «глаз», зону относительного затишья в центре. У внетропических циклонов «глаза» нет.

Если принять некоторые из этих свойств за определяющие, то остальные можно пояснить через них. Посмотрим, например, как благодаря восходящему потоку воздуха в центре циклона появляется облачность и выпадают осадки. Выделив мысленно какой-нибудь объем воздуха, проследим за его движением. Поднимаясь в более разреженные слои атмосферы, этот объем расширяется и остывает (явление, обратное нагреванию воздуха при его быстром сжатии в велосипедном насосе). При этом содержащийся в объеме водяной пар будет конденсироваться, создавая облачность и осадки; кроме того, превращение пара в воду происходит с выделением тепла. Это тепло приводит к дополнительному расширению газа и помогает ему подниматься. Больше всего пара содержит воздух над прогретым океаном вблизи экватора, поэтому восходящие потоки должны быть особенно сильными в тропических циклонах. Именно поэтому тропический циклон мощнее внетропического.

Через понижение давления к центру циклона можно объяснить спиральность потока в нем и направление вращения циклонов в разных полушариях. Для этого достаточно лишь припомнить сообщенный нам в школе факт, что благодаря вращению Земли реки Северного полушария подмывают правые свои берега, а Южного — левые. Другими словами, речной поток отклоняется от своего основного направления и набегает на берег. У воздушных течений берегов нет, и ничто не мешает им закручиваться. Такой поток будет втекать в область пониженного давления по спирали. Это и означает, что циклон Северного полушария вращается против часовой стрелки (если смотреть сверху на движение воздуха у поверхности Земли), а циклон Южного полушария — по часовой стрелке.

Таким образом, в облике циклона многое понятно. Неясно лишь, почему он возникает. Особенно эта неясность чувствуется при сравнении циклона с другими атмосферными вихрями. Мы только что вывели ряд свойств развивающегося циклона из одного лишь факта, что в центре его существуют восходящие потоки воздуха. Но факт этот нельзя считать принципиально важным для существования самого вихря. В самом деле, у другого гигантского атмосферного вихря — антициклона — воздушные потоки в его центральной части направлены вниз. Правда, из-за такого направления потоков этот вихрь остается невидимкой: поскольку для него не характерны осадки, воздух в нем прозрачен. Но это не меняет существа дела: он очень похож на циклон. Только в центре антициклона давление повышено и вращается он всегда в сторону, противоположную направлению вращения циклона. Почему, читатель поймет, повторив наши рассуждения для растекающихся потоков.

Нельзя сказать, что циклон обязан своим существованием центральной области пониженного давления, хотя, как мы только что видели, спиральность воздушных потоков и направление вращения циклона связаны с наличием такой области. Действительно, многие образующиеся по тем или другим причинам области пониженного давления быстро «заполняются» устремляющимися в них (по спирали, конечно) потоками воздуха, и давление выравнивается. Но такого выравнивания не происходит и давление в области продолжает падать, когда на ней «заводится» циклон со всем комплексом его признаков

(восходящими потоками и пр.). Что тут есть следствие чего, неясно.

Наконец, нельзя считать, что вращение Земли, определяющее направление вращения циклона и антициклона, так уж принципиально важно для развития атмосферного вихря. У циклона есть родственник — вихревое образование, гораздо меньшее по размерам, зато с гораздо большими скоростями ветра: смерч, или торнадо. В его центральной части имеются восходящие потоки, и, самое главное, зона пониженного давления в его центре выражена намного резче, чем у циклона (люди, над которыми прошел смерч, говорят, что изнутри он выглядит, как внутренность высокой стопки автомобильных шин). И вот, несмотря на это, встречаются смерчи, которые вращаются не в ту же сторону, что циклоны того же полушария, а в противоположную. Ясно, что вращение этих вихрей не предопределяется вращением Земли.

Не удивительно, что происхождение циклонов и антициклонов (циклогенез) считается одним из труднейших вопросов метеорологии.

Еще менее изученными оказываются смерчи, хотя вниманием людей они не обделены. Они часто случаются в Соединенных Штатах Америки: лишь в течение одного месяца — мая 1982 года — над разными районами США промчалось в общей сложности 365 смерчей. В этой стране смерчи считаются подлинным национальным бедствием, настолько велика их разрушительная сила. В сельскохозяйственном штате Канзас, например, фермерские семьи имеют специальные убежища, чтобы прятаться при приближении смерча.

Смерч появляется внезапно, на своем пути он перемалывает почти все (в том числе и приборы, которые могли бы замерить его физические характеристики). Правда, некоторые предметы, встретившиеся ему на пути, он оставляет совершенно неповрежденными. Известен случай, когда в налетевшем смерче исчезли коровник и корова, но женщина, доившая ее в коровнике, осталась сидеть на месте; возле нее, как и прежде, стояло ведро с молоком. Разнообразием своего поведения смерч похож на живое существо, действующее по своей воле и всячески не желающее, чтобы его изучали.

На эту тему написал один из своих рассказов известный писатель-фантаст Рей Брэдбери. В нем утверждает, что смерч непостижим для современной науки потому,

что обладает способностью усваивать интеллекты погибших в нем исследователей-метеорологов. Больше того, чувствуя, что кто-то о нем слишком много знает, смерч начинает гоняться за этим человеком и в конце концов настигает его. Тем самым смерч спасается от разоблачения и заодно умнеет еще больше. При нашем уровне знаний о смерчах нетрудно поверить и фантасту.

Собственно природа вихрей — это предмет исследования уже не столько метеорологии, сколько другой науки — механики жидкости и газа. В самом деле, метеоролог, например, изучает условия, при каких возникают тропические циклоны, а при каких — смерчи. Он выясняет, что тропические циклоны, как правило, появляются над морем, а смерчи — над сушей, над теми ее областями, где сталкиваются разные по температуре, плотности, влажности воздушные массы и холодные потоки движутся ниже слоев теплого влажного воздуха. Но, хотя условия возникновения ураганов и смерчей разные, сами вихри оказываются похожими. Значит, свойства их определяют самой средой — воздухом.

По существу, вихри отличаются друг от друга лишь размерами и, если можно так выразиться, развитостью вихревых свойств. Чем меньше вихрь по размерам, тем ярче выражены его вихревые свойства. Сопоставим, например, те вихри, в которых вращение идет вокруг области пониженного давления в центре. Самый большой из этой группы — внетропический циклон. Он достигает нескольких тысяч километров в поперечнике, высота его колеблется между 2—4 и 15—20 километрами, скорость ветра в нем не превышает 40—70 километров в час. Давление в его центре процента на два меньше, чем на периферии. Его средний собрат, ураган, имеет горизонтальные размеры в несколько сот километров, высота его — 12—15 километров, скорость ветра в нем достигает уже 400—600 километров в час, давление в центре падает на 10 процентов, ураган имеет характерную полость внутри — «глаз». Меньший брат, смерч, имеет в поперечнике от нескольких метров до 2—3 километров, высоту — от нескольких десятков метров до 1500—2000 метров. А скорость ветра в нем иногда превышает звуковую (1200 километров в час!). Давление в его центре падает на 20 процентов. «Глаз» очень четкий, имеет вид пустого черного цилиндра.

Заметим, что перепады давления в смерче фантас-

тически резкие. Однажды там, где прошел смерч, была найдена курица, ощипанная с одной стороны. Вообще-то много раз бывало, что смерч оставлял после себя ощипанные тушки кур, попавшихся ему на пути: давление в нем гораздо меньше, чем в воздушных пузырьках, находящихся у основания куриных перьев, и воздух этих пузырьков попросту выталкивал перья наружу. Полу-ощипанная курица — свидетельство того, что на расстоянии всего нескольких сантиметров давление менялось от «ощипывающего» до обыкновенного.

Удивительная концентрированность вихря, резкость перепадов скорости образующих его потоков наводят на размышления с философским оттенком. В самом деле, отчего объект может так сильно выделиться из среды, его породившей? Где обычное унылое противодействие внутреннего трения (вязкости) и теплопроводности? Они ведь все сглаживают и выравнивают, стремясь уничтожить возникшие неоднородности. Почему, вместо того чтобы терять очертания, расплываться, возникшая неоднородность развивается и «обостряется»? Авторы множества работ рассматривают, как именно «сходит на нет» та или другая неоднородность (вспомним идею «тепловой смерти Вселенной» и т. п.), но очень немногие — возникновение и «самоорганизацию» этих неоднородностей. Оказывается, не только создавать труднее, чем разрушать, но и понять возникновение труднее, чем разрушение.

Как устроен «изнутри» такой вихрь? О чем говорит его странная избирательность — оставлять некоторые предметы нетронутыми посреди разрушений? Козьма Прутков правильно понял: «...Храню, разрушая». Откуда удивительное умение смерчей и ураганов вгонять продолговатые предметы во что угодно: соломинки — в твердые комья глины, палки — в толстые стволы деревьев и т. д. Очень своеобразны эти атмосферные вихри...

Вообще в природе вихри возникают во множестве. Они появляются в той части потоков, где скорость быстро меняется в поперечном к потоку направлении; каждому приходилось видеть вихри в быстрой реке на переходе от быстрины к замедленному течению у берега.

Целая цепочка вихрей может тянуться за движущимся предметом, скажем автомобилем. Их особенно удобно наблюдать на шоссе в метельные дни, когда машина обдувается крепким встречным ветром, а хлопья снега «проявляют» движение прозрачного воздуха. Такие же

вихри появляются при обтекании препятствий. Часто вихри дробятся и множатся и, став маленькими, теряют свою скорость из-за действия сил вязкости и исчезают:

От крупных вихрей — малые,
Что кормятся их скоростью,
От маленьких — мельчайшие,
И далее — до вязкости, —

писал об этом процессе математик Л. Ф. Ричардсон (1881—1953), переиначив строки рапсодии Джонатана Свифта (1667—1745) «О поэзии»:

Натуралисты знают,
Что маленькие блохи крупных блох кусают,
А их терзают меньшие,
И так до бесконечности.

Но бывает, что вихри сливаются друг с другом. Можно создать одиночные вихри, обладающие поразительной целостностью, устойчивостью, живучестью. Например, вихревые кольца, которые умеют выпускать некоторые курильщики, летят высоко под потолок, тогда как просто дым от папиросы, едва поднявшись, разбивается на струйки, перемешивается с воздухом и расплывается. Американский физик, виртуоз-экспериментатор Р. Вуд показывал своим студентам опыты, при которых большие вихревые кольца пересекали просторную аудиторию и со стуком ударялись об ее стену.

Понять все эти вихри нелегко. Современная математика не может пока описать зарождение одиночного вихря даже в более простой, чем воздух, среде — несжимаемой жидкости. До сих пор не решена задача о возникновении водоворота, который получается при сливе жидкости через отверстие в дне сосуда: слишком сложными оказываются уравнения и слишком много величин в них «завязано». Наши знания этих вихрей основаны в основном на наблюдениях. Главное в вихре — то, что он вращается. Почему же и в какую сторону вращается водоворот?

Популярную литературу обошло утверждение, что появление водоворота обусловлено вращением Земли. Но тогда он должен вести себя, как циклон, и вращаться в Северном полушарии против часовой стрелки, а в Южном по часовой. Водоворот, который всегда вращался в «циклоническую» сторону, наблюдали сотрудники полярной станции, дрейфовавшей на льдине в Арктике. Весной им приходилось регулярно сверлить дырку в своей льди-

не, чтобы слить воду, мешавшую садиться самолетам на их ледовый аэродром. Стекаясь в одну точку с большой площади, вода создавала мощный, ревущий водоворот. Это зрелище было развлечением всех сотрудников станции. Другое дело на экваторе. Его можно отнести как к Северному, так и к Южному полушарию. Водоворот должен здесь вращаться одновременно и против, и по часовой стрелке. Единственный способ, каким можно выйти из этого положения, — это не вращаться вообще. Ведь известно, что мощные атмосферные вихри не возникают в узкой полосе широт по обе стороны от экватора! Выходит, по той же самой причине на экваторе не должен возникать водоворот. Однако в умывальниках и ваннах Экваториальной Африки вода закручивается в стоке не хуже, чем на средних широтах. Это говорит о том, что вращение Земли в данном случае ни при чем.

По-видимому, дело здесь в том, что с самого начала вода случайно оказывается чуть-чуть закрученной и что отверстие в дне сосуда не строго симметрично. Когда в опытах использовали очень симметричный сосуд и давали воде в нем как следует отстояться (успокоиться), прежде чем ее начинали спускать, водоворот не появлялся. Заметим, кстати, что циклоны так же несимметричны. Всем известны фотографии циклонов, сделанные сверху — с борта спутника или со специальных укрепленных самолетов метеослужбы. На них видны облачные рукава циклона, которые делают его похожим на спиральную галактику. Не вполне ясно, обладает ли такой структурой антициклон. Его фотографии не так выразительны, как изображения циклонов: осадки в нем редки, поэтому антициклон прозрачен и труднее различим.

Вообще физически ясно, что вращение Земли должны «ощущать» лишь те вихри, в которых движение вещества в горизонтальной плоскости довольно медленное. Иначе, двигаясь к центру или от центра вихря, вещество просто «не успевает заметить», что Земля вращается, и направление вращения вихря будет определяться конкретными условиями в самом вихре. Что это за условия, мы пока не знаем. Недаром в своих популярных статьях известный советский специалист по физике элементарных частиц Я. А. Смородинский замечает, что частицы появляются и исчезают, подобно вихрям на воде. «Но кто знает, откуда берутся вихри?» — спрашивает он.

По-видимому, именно неизученность внутренних

свойств вихря приводит к тому, что метеорологи знают, может ли в данной ситуации появиться циклон, но не знают, появится ли он. Так, лишь 10 процентов образовавшихся в тропиках областей пониженного давления развиваются в ураганы, остальные бесследно исчезают. Какие именно из них разовьются, предсказать пока нельзя.

Поэтому людям приходится сейчас рассчитывать только на службу предупреждения, которая оповещает о приближении уже сложившихся вихрей. Выгоды, которые она приносит, давая прогнозы для авиации, водного транспорта, сельского хозяйства, промышленности, несомненно велики, хотя и не всегда поддаются точному учету. Но самое главное, на ее счету тысячи и тысячи спасенных человеческих жизней.

Наблюдения из космоса помогают службе оповещения практически со времени появления первых спутников. Еще в 1962 году благодаря спутнику «Тайрос-3» было вовремя обнаружено зарождение урагана «Карла». 500 тысяч человек удалось заблаговременно эвакуировать из угрожаемых районов, и число жертв оказалось гораздо меньшим, чем могло бы быть. Как говорят метеорологи, погода не знает границ, и это заставляет ее исследователей всячески стремиться к международному сотрудничеству. Достижение на этом пути — создание телевизионной системы автоматической передачи изображений. Она дает возможность каждой стране с помощью довольно несложного оборудования получать телеснимки со спутников независимо от их государственной принадлежности, что сильно облегчает работу метеорологов. По всему миру действуют сейчас многие сотни тысяч таких станций.

В последнее время выяснилось, что наблюдение за самим космосом также имеет прямое отношение к предсказанию погоды. Уже говорилось, что между разреженной плазмой магнитосферы и нейтральной атмосферой Земли находится проводящий слой — ионосфера. За ней ведутся наблюдения с помощью радиолокатора. Подобно тому как аэродромный радиолокатор «видит» самолет благодаря различию электропроводящих свойств металла и воздуха, локатор, следящий за ионосферой, отмечает всякое различие в количестве заряженных частиц, от которого зависит электрическое сопротивление ионосферы. Мы узнаем таким образом о неоднородности ионосферы. Сейчас, когда ученые добились известной ясности в понимании процессов на космических высотах, стало воз-

можно отличать один тип неоднородностей от другого. Так, выделились неоднородности, связанные с распространением внутренних волн в атмосфере. В течение последних лет ведется сопоставление характеристик ионосферы с погодными аномалиями у поверхности Земли (с сильными штормами, ураганами, торнадо, грозами). Оказалось, предвестником появления неподалеку таких аномалий являются внутренние волны с периодами от 3 до 25 минут на ионосферных высотах. С практической точки зрения важнее всего то, что источник волн, предвещающий ураган, располагается в том месте, куда этот ураган придет через 3—4 часа. Наблюдая за космосом, можно, таким образом, предсказать, куда пойдет ураган.

Заметим, что традиционные наблюдения из космоса за ураганом дают лишь его положение непосредственно в тот момент, когда ведется наблюдение. Правда, как только ураган обнаружен, за ним устанавливают непрерывное наблюдение. По спутниковым фотографиям метеоролог может нанести на карту траекторию, по которой прошел ураган. Потом, продолжая ее естественно и плавно, он может судить о том, куда будет двигаться ураган. Но все же прогноз дальнейшего пути движения урагана этими методами — дело сложное, хлопотливое и при всей своей трудоемкости далеко не всегда успешное. И если приход в данное место урагана хоть как-то предсказывается ими, то появление смерча-торнадо застает всех врасплох. Новый метод слежения за ионосферой позволяет предсказывать и смерч за 2—4 часа.

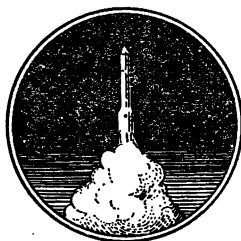
Таким образом, по состоянию ионосферы можно судить о будущих изменениях в плотной нижней атмосфере. Исследователи, обнаружившие это, предполагают, что движения приземных слоев воздуха в том месте, куда придет вскоре атмосферный вихрь, заставляют колебаться атмосферу. Эти колебания, передаваясь в верхние слои атмосферы, раскачиваются (вспомним блюдо с желе: стоит тронуть тяжелое основание, как легкая масса наверху ответит размашистыми колебаниями). Они-то и влияют на состояние ионосферы.

Еще одна подробность об ураганах и смерчах стала известна людям лишь в последние годы. Метеоролог Фудзита открыл неизвестное раньше атмосферное явление. Он назвал его нисходящим взрывом. Это внезапно возникающий стремительный поток воздуха, который движется вниз, к Земле, со скоростью 80—100 километров в час,

скорость его в горизонтальном направлении 30—100 километров в час. Продолжительность этого явления составляет в среднем 15 минут, горизонтальные размеры потока всего несколько километров. Такой взрыв бывает причиной авиационных катастроф. Это явление происходит как само по себе, так и в сочетании с торнадо, ураганом или грозой. Примерно половина всех торнадо связана с нисходящим атмосферным взрывом. Оказалось, что капризность торнадо, его прыжки и извивы объясняются воздействием атмосферных взрывов. Иногда атмосферный взрыв может даже погасить торнадо.

В последние годы атмосферу изучают во всей ее толще. Оказывается, несмотря на колоссальную разницу в плотности между ее более высокими и низкими слоями, она во многих отношениях ведет себя как единое целое вплоть до высоты 100 километров. Многие крупные образования в ней развиваются практически одновременно на всех уровнях. Один и тот же циклон, например, может проследиваться и в стратосфере (слое воздуха между 8—16 и 45—55 километрами) и значительно выше — до 100 километров. Ось его может быть наклонена, но остается единой для всех уровней.

14. А НАМ ВСЕ РАВНО!



Позавчера мы ничего не знали об электричестве;
вчера мы ничего не знали об огромных резервах
энергии, содержащихся в атомном ядре;
о чем мы не знаем сегодня?

Луи де Бройль

Вот, преодолевая земное притяжение, ракета уходит ввысь. Из нее с ревом вырываются огненные потоки газа. Постепенно ракета превращается в яркую точку. Там,

высоко над нами, пламя по-прежнему рвется из нее.

Можно было отвлечься от его воздействия на атмосферу, когда ракета пролетала приземные слои воздуха: газ, вытекающий из сопла, здесь — капля в море. Когда ракета выйдет в открытый космос, двигатель вообще выключится. Но сейчас ракета летит через разреженные слои атмосферы — не пострадают ли они? Как изменения в них скажутся на живой природе Земли? С ходу и обоснованно на этот вопрос ответить нельзя; еще не настолько хорошо мы знаем верхнюю атмосферу, это узнавание только началось, для него и используют (с 1946 года) запуски геофизических ракет. Остается очень внимательно следить за происходящим, чтобы сразу же отреагировать на нежелательные изменения, если они появятся. Такие наблюдения ведутся.

Недавно журнал «За рубежом» перепечатал статью одного американского геофизика об атмосферном озоне. Напомним читателю, что озон — это газ, молекулы которого состоят из трех атомов кислорода. Сосредоточенный в стратосфере, он защищает все живое на Земле от избытка ультрафиолетового излучения Солнца. Автор сообщил читателям, что современные материалы не дают однозначного ответа на вопрос, разрушается ли озон самолетами и ракетными двигателями. Закончил он статью словами: «Если даже озон и разрушается, то, что ж, придется нам почаще надевать шляпу!» Однако, следуя логике автора, шляпу пришлось бы надеть на каждое животное, на каждое растение: биосфера «рассчитана» на определенный уровень облучения ультрафиолетом. Не стоило бы упоминать об этой статье, если бы она так жизнерадостно не выражала распространенный предрассудок: человек со своими неприятностями как-нибудь да справится, а там хоть трава не расти!

Бесконтрольное развитие техники постепенно приводит к промышленному загрязнению нашей планеты. К сожалению, проблема «человек и биосфера» стала в наше время значительно более актуальной, чем «Солнце и биосфера».

Как уже говорилось, основоположником гелиобиологии был А. Л. Чижевский, работавший в первой половине нашего века. В своей деятельности он отталкивался от замеченного им факта, что подавляющее большинство исторических свидетельств о разного рода бедствиях — стихийных катастрофах, эпидемиях, неурожаях и пр. —

сопровождается описанием параллельно текущих необычных явлений на небе. Это те самые «знамения небесные», которым буквально, конечно, доверять нельзя, но не буквально — можно: скажем, понимая под каким-нибудь «огненным мечом» полярное сияние.

Чижевский также обратил внимание, что чисто человеческие несчастья вроде эпидемий или неурожая часто обнаруживают связь с необычным состоянием земной природы. Так, например, римский поэт Овидий (43 г. до н. э. — 17 г. н. э.), описывая повальную болезнь жителей острова Эгины, отмечал, что болезнь охватила не только людей, но также животных и даже растения. Все это навело Чижевского на мысль, что необычное состояние живого мира на Земле, а также погодные аномалии определяются необычным состоянием космоса, прежде всего Солнца, и он сопоставил их с солнечной активностью и магнитными бурями.

В связи со своей гипотезой Чижевский заинтересовался широким кругом вроде бы беспричинных событий на Земле. Как объяснить случаи эпидемий, возникающих вдруг на корабле, находящемся долгое время в открытом море? Микробами, возбудителями болезни, очевидно, был заражен кто-то из моряков. Но почему эти микробы, так сказать, то «сидели тихо», то вдруг начали «бешено размножаться»? Аналогичный вопрос: почему в обычных земных условиях эпидемическая вспышка болезни то локализуется в небольшом районе и быстро гаснет, то, наоборот, бывает длительной и охватывает большую территорию? Почему бывают случаи, когда эпидемии оканчиваются сами собой, еще до прибытия врачей, выехавших на борьбу с ними?

Можно отвечать на эти вопросы и не так, как Чижевский. Исходить, скажем, из предположения, что все это происходит по своим внутренним причинам, из-за неустойчивостей в том или другом сообществе живых организмов. Предел развития этих неустойчивостей может также определяться внутренними биологическими законами, действующими вне какой-либо зависимости от внешних, космических влияний. Наверняка такие неустойчивости проявляют себя, но на вопрос, все ли и всегда ли сводится к ним, однозначного ответа такой подход пока не дает.

Чижевский проанализировал огромный материал и выявил определенные закономерности, подтверждающие

его гипотезу. Многие выводы его согласуются с результатами других исследователей.

Однако замечено, что многие закономерности, установленные А. Л. Чижевским, теперь уже не проявляются в городах, хотя и остаются справедливыми для сельской местности. Но и там они выражены менее четко, чем лет 50 назад. Некоторые опыты по выявлению космических воздействий на биологический объект, поставленные в городских условиях, дают совершенно разные результаты в рабочие дни и в дни праздников. Вряд ли стоит этому удивляться: ведь проходящий в 30 метрах трамвай так же возмущает магнитное поле на Земле, как обычная магнитная буря, а электровоз на том же расстоянии — как очень сильная буря.

Тем не менее в последние годы обнаружился гелиобиологический эффект, действующий и в этих условиях. Он касается высшей нервной деятельности человека и наглядно показывает, насколько важно представлять себе космическую обстановку не «вообще», а «в частности», конкретно.

В одной из клиник Москвы проходили курс лечения голодом пациенты с нарушениями психики. Во время этого лечения они не получали никаких психофармакологических лекарств. Каждый больной ежедневно оценивал свое психическое самочувствие по принятой шкале баллов, по такой же шкале независимо выставляли каждому свой балл врачи. Оказалось, такая оценка объективно отражает самочувствие больных. Сумма баллов за день давала представление о том, как в этот день чувствовала себя вся группа больных. Группа состояла из 75 человек. Казалось бы, когда одному из них хуже, другому вполне может быть и лучше, и суммарный балл для всей группы больных не должен сильно меняться ото дня ко дню. Оказалось, что это не так, он резко колебался.

В плохую погоду невесело. Например, смотреть, как в мае валит снег на цветущие ветки очень тяжело, в этом видится что-то противоестественное. Может быть, болезненно впечатлительный человек сильнее реагирует на все это?

Нет, с погодой никакой связи не просматривалось.

Медики обратились к физикам. Уже упоминавшиеся нами магнитологи Л. Г. и С. М. Мансуровы сопоставили изменения суммарного балла самочувствия с космическими событиями. Оказалось, что ухудшение самочувствия

больных вызывает переход нашей планеты из одного сектора межпланетного магнитного поля в другой. То же самое происходило вслед за каждым внезапным началом магнитной бури. Но были и моменты, когда больным становилось хуже, хотя таких событий не происходило. С чем это связано — неясно, хотя и в этих случаях исключить космическое влияние нельзя: современная космофизика не умеет полностью расшифровывать информацию даже одних лишь земных магнитографов; мы уже говорили, что ученые изучают пока самое броское в их записях.

Позже эти результаты подтвердили американские исследователи, наблюдавшие за больными детьми. Правда, их пациенты получали в это время лечебные препараты, и поэтому зависимость от космических факторов не была такой четкой.

Пока неизвестно, что именно из космических процессов и через какие промежуточные звенья действует на больных. Может быть, магнитное поле? Оно влияет на живой организм — это показывают прямые лабораторные наблюдения. Чувствует его нервная система. Так, советский биолог Ю. А. Холодов выработал у карасей условные рефлексы на магнитное поле. Но для этого потребовалось поле, в 10 раз более сильное, чем земное. Вообще же магнитобиология — еще очень молодая наука. По словам Холодова, «картина современных знаний о биологическом действии магнитных полей напоминает хаос строительной площадки, где перемешались мусор, дорожный и строительный материал. Но сквозь неразбериху лесов и подсобных помещений уже видятся контуры здания магнитобиологии, заложенного на фундаменте последних достижений биологии, физики и химии».

Есть гипотеза, что на больных действуют колебания магнитного поля с периодами меньше 10 минут. Их еще называют «жемчужинами». Это название пошло от их исследователей — В. А. Троицкой и Н. Г. Клейменовой, которым изображение таких колебаний на ленте магнитографа показалось похожим на нитку жемчуга. «Жемчужины» легко выделить из других магнитных явлений. В дневное время суток некоторые виды «жемчужин» наблюдаются практически всегда. При определенных резких изменениях межпланетного магнитного поля — при переходе через границу секторов, а также при внезапном начале магнитной бури — происходит полное исчезнове-

ние («внезапное кончало», по шутливому выражению В. А. Троицкой) этих колебаний. Предполагают, что такие колебания нужны человеческому организму для согласования идущих в нем процессов. Но разобраться в этом, наверное, так же трудно, как выяснить наконец, почему на нас действует музыка. Стоит вспомнить только, как давно ищут ученые ответ на этот вопрос, сколько растений и животных в «порядке эксперимента» вырастили под музыку!

В своем предисловии к известной книге А. Л. Чижевского «Земное эхо солнечных бурь» член-корреспондент АН СССР О. Г. Газенко (ныне академик) так говорит о значимости совместной работы автора и казанского врача-бактериолога С. Т. Вельхова: «Чижевский приводит в своей книге письма Вельхова с описанием его наблюдений. Оказалось, что рецепторный аппарат коринебактерий чутко реагирует на импульсы солнечных возмущений: меняются физико-химические качества этих бактерий, что выводит их из состояния покоя в состояние активной жизни и, что особенно интересно, изменения эти происходят с упреждением солнечных флюктуаций. Открытый феномен получил в литературе название эффекта Чижевского—Вельхова. Он обрел большое значение в связи с успехами космонавтики как средство предвидения солнечных эмиссий, особенно опасных за пределами земной атмосферы».

Интересно, что сходный эффект есть и в метеорологии. Оказалось, что некоторые атмосферные процессы систематически опережают космические события. Разумеется, никому в голову не придет утверждать, что явления на Солнце вызываются процессами в атмосфере Земли. Здесь явно действует какой-то непонятный еще космофизический фактор. Известно, например, что на Солнце предвестником появления группы пятен является усиление магнитного поля в этой области. Впрочем, нельзя сказать, что наше светило досконально изучено. Стоит заметить, что толком еще не понято, почему возникают солнечные пятна.

«Мы никогда не должны забывать,— говорил один из создателей квантовой механики Луи де Бройль,— что каждый успех нашего познания ставит больше проблем, чем решает».



Куда на выдумки природа таровата!
И. А. Крылов

В природе есть свои рекорды и свои стандарты, те и другие изменяются со временем.

Русская Никоновская летопись рассказывает о 1371 годе: «Того же лета бысть знамение в Солнце, места черны по Солнцу, аки гвозди...» Очевидно, солнечные пятна просматривались тогда простым глазом. О «стаях птиц», которые временами появляются на солнечном диске, сообщают и древние китайские летописи. Удивительно, что жители Западной Европы, которые не могли не видеть тех же пятен невооруженным глазом, с Солнцем их не связывали. Так, в VIII веке восемь дней подряд видно было на Солнце большое черное пятно. Ученые объявили, что это пятно — планета Меркурий. Меркурий действительно иногда проходит по диску Солнца, но пересекает его всего лишь за несколько часов. Другое расхожее объяснение, которое давали в Европе видимым пятнам на Солнце, — появление паров между Землей и Солнцем. Историки науки полагают, что взглянуть непосредственно на происходящее и осознать существование пятен на Солнце европейцам мешала их религия и философия, которые объявляли Солнце совершенным. Память о расставании с этим предрассудком — поговорка: «И на солнце есть пятна». Истину выяснил в 1610 году знаменитый Галилео Галилей, направив на Солнце изобретенную им подзорную трубу.

Но вскоре после этого открытия о пятнах перестали писать, им перестали удивляться, иссяк поток сообщений о полярных сияниях. Это все служит косвенным свидетельством сильного уменьшения активности Солнца.

Поэтому ряд исследователей считает, что с 1645 по 1715 год пятен на Солнце практически не было.

Сейчас периоды, когда на диске Солнца не видно ни единого пятна, бывают тоже, но длятся они дни, недели, очень редко — месяцы. Крупные пятна, которые можно увидеть невооруженным глазом, появляются и теперь, но это единичные, сравнительно редкие явления. Такое случается иногда вблизи максимума солнечной активности. Было видно пятно в 1982 году, можно было заметить пятна при всплеске солнечной активности все в том же аномальном 1972 году.

Как мы уже знаем, в 1972 году произошла уникальная по силе вспышка на Солнце, но этот год не был годом очередного максимума солнечной активности. И в этом есть некоторая закономерность: грандиозные солнечные вспышки случаются не в годы максимума, а в периоды между ними. И это все при том, что годы максимума — это годы мощных и частых вспышек, но не уникальных. Еще парадокс, который до конца пока не понят. Очень «тихий» в магнитном отношении день, когда магнитные возмущения минимальны, легче найти в год максимума солнечной активности, чем в год ее минимума. Так что в годы максимума часты не только магнитные бури — самые мощные магнитные возмущения, но и самые «магнитоспокойные» дни. Но, конечно, грандиозные вспышки влекут за собой и грандиозные магнитные возмущения — бури на Земле.

О полярных сияниях «не на месте» мы уже говорили. Назовем здесь лишь одно происшествие: 4 февраля 1872 года полярные сияния были видны в Египте, Индии, Гватемале.

Текущая специальная литература по различным видам полярных сияний не отмечает, чтобы при них на поверхности Земли возникали какие-либо экзотические явления. Однако наблюдатели прошлого об этом упоминали. Один из них — русский исследователь Севера К. Д. Носилов, который в качестве метеоролога зимовал в конце прошлого века на Новой Земле (надо сказать, что К. Д. Носилов больше известен как этнограф — его статью о народном театре у вогулов пересказывал больной А. П. Чехов Л. Н. Толстому, зашедшему в клинику навестить его). Носилов сообщает о сильном полярном сиянии нечто для нас неожиданное: «Это было ужасное и вместе с тем приятное зрелище, знакомое только по-

лярному человеку... Оно разыгрывается совсем не так, как на линии Петербурга или Архангельска, — над самой головой зрителя... Игра огней придавала всему северному сиянию большую подвижность... и, казалось, все те слои воздуха, где горело, колыхалось, тухло и разгоралось это чудное явление, колыхались вместе с ним, захватывая нижние слои воздуха; лента спускалась на тысячи метров ниже, приближалась к поверхности моря, к острову, еще ярче освещала его льды, казалось, вот она спустится, обожжет этот вспыхивающий под ней снег, коснется нас, и мы прижимались невольно к стене дома. Но морозный воздух не колыхался, свеча горела, не колыхнув пламенем; явление, не достигнув, казалось, каких-нибудь ста сажен земли, таяло, прекращалось, и лента снова поднималась, начинала погасать, чтобы дать место другой...

Собаки — как заряженные аккумуляторы, бродили беспокойно, ложились на снег, ворча и взвизгивая, катались по нему и бежали в сени, сгорбившись, с поднявшейся на спине и шее шерстью, к которой нельзя было прикоснуться, чтобы не причинить им видимой боли, от которой они при малейшем прикосновении взвизгивали и даже кусались.

Я снял теплую шапку и погладил свои волосы. Мне было неприятно их трогать, они тоже, как у собак, приподнимались, были грубыми и издавали больше треска, чем обыкновенно».

Здесь речь идет явно о сильной электризации.

Не находят отражения в современной научной литературе и некоторые другие отмеченные наблюдателями свойства полярных сияний. Были, например, неоднократные сообщения о звуках вроде шелеста или шуршания, которые слышали люди во время полярных сияний. Современные приборы, воспринимающие акустические волны слышимого диапазона, «не замечают» сияний, так же как не слышат их исследователи, с ними работающие (правда, приборы обнаруживают инфразвуковые волны, которые создаются движением сияний; для человеческого уха их частота слишком мала). Известный специалист по полярным сияниям С. Акасофу, долгие годы живущий на Аляске, говоря об этом, признавался, что не знает, в чем здесь дело, — самому ему лично «слышать» сияния не приходилось. Может быть, люди, слышавшие сияние, обладают особой слуховой чувствительностью?

Впрочем, по словам Акасофу, люди, изучая полярные сияния, пробуют разные методы. Например, смотрят на поведение собак, поскольку считают их очень чувствительными. Допуская, что собаку может волновать сам вид полярного сияния, они прячут собаку в такое помещение, откуда она его не может видеть. И все-таки во время сияния собака воет!

16. ВКЛЮЧИТЕ НАМ ПОЛЯРНОЕ СИЯНИЕ!



Я препоручаю основания науки о магните
— новый род философии —
только вам, истинные философы,
благородные мужи.
У. Гильберт. О магните,
магнитных телах
и великом магните — Земле (1600)

— Дорога в космос!.. — ворчит кто-то, споткнувшись на лестнице. Осторожно ступая по заснеженным ступенькам, мы, группа москвичей-космофизиков, поднимаемся на крышу заполярной наблюдательной станции. Здесь стоят приборы, которые в автоматическом режиме следят за полярными сияниями. Сейчас над станцией висит еле заметное белесое пятно, скорее похожее на облако, подсвеченное снизу. Но свет — помеха для наблюдений, поэтому уличные фонари в поселке затемнены. Мир без огней кажется безлюдным и необжитым. Полное впечатление, что все здесь было таким же и много лет назад, когда еще не было станции, не было поселка внизу.

Мы слушаем рассказ сотрудника станции о новых приборах, вздрагиваем, когда какой-нибудь аппарат внезапно начинает жужжать, ждем, когда он, отработав свое, сам собой замолкнет и рассказ продолжится, но каждый

из нас нет-нет да и оглянется по сторонам: вдруг где-нибудь зажжется яркое подвижное сияние — знаменитый «пожар небес».

Масса людей, которые посвятили свою жизнь изучению полярных сияний, точнее, тех космических явлений, что стоят за «живым пламенем небес», никогда своими глазами его не видели — только цифры, только графики, только формулы, рассказывающие о нем. А увидеть хочется. В короткое время, отведенное для научных семинаров и совещаний в Заполярье, ясную ночь и сияние, тем более эффектное, застанешь не всегда. И обязательно в той или другой форме прозвучит и забудется до следующей встречи непритязательная шутка, обращенная к хозяевам заполярного поселка, где собрались приезжие космогеофизики: «Пожалуйста, включите нам полярное сияние!»

В служебное время увидеть красивое полярное сияние не довелось и мне. Но в моей жизни была Антипаута — полтора месяца заполярной зимы. День тогда был не в счет: каких-нибудь три-четыре часа мутного света, когда «все кошки серы», остальное время суток занимала ночь. Если облака не закрывали небо, все выглядело необыкновенным. Полярная ночь оказалась светлой и яркой, краски, едва различимые днем, отчетливо были видны ночью. Местные жители для далеких поездок на нартах выбирали именно ночь. Мы говорим: «У телевизора голубой экран», небо же над Антипаутой светилось ясными ночами еще более чистым, каким-то радостным, голубым светом. Я знала, что яркое свечение всего неба бывает экваториальнее длинных дуг аврорального овала, однако не представляла себе, насколько оно яркое.

Но в ту ночь мы, по-видимому, находились где-то в области дуг, на темно-синем небе светилось несколько их обрывков и отдельные не очень четкие пятна. Было около полуночи, когда белое пятно над головой неожиданно превратилось в огромную серовато-розовую звезду. Лучи ее исходили из темной сердцевины и в каком-то странном ритме попеременно меняли свою длину. Казалось, звезда журчит и как будто говорит о чем-то. Звук не было слышно, было зрительное восприятие ритма. Надо мною горела корона, довольно редкая форма полярных сияний. Ее видит лишь тот, кто находится прямо под ней; ему кажется, что лучи идут из одного центра.

Однако пора вниз. Осторожно по одному спускаемся по узкой лесенке. Внизу большая комната, где обычно работают дежурные сотрудники станции. Наверное, так выглядят арктические лаборатории с тех пор, как они появились. Приборы на стеллажах, рулоны бумаги, традиционные валенки и свитера полярников.

Но приборы эти современные, точные, лампочками-индикаторами перемигиваются блоки лабораторной электронной вычислительной машины. В комнате висит огромный чертеж — строение магнитосферы, каким его открыли космические корабли. На полках — те же книги, что остались на моем рабочем столе в далекой Москве. Разговор, который пойдет сейчас у гостей и хозяев, будет общим — сразу об арктическом небе и о космосе. Обходиться друг без друга мы не можем.

До появления спутников систематически изучать полярные сияния и связанные с ними явления можно было лишь в условиях зимовки. Работы геофизиков-полярников прокладывали дорогу будущей космофизике.

Был в Арктике и Антарктиде уже известный нам Сергей Михайлович Мансуров. Однажды, когда в нашем с ним разговоре зашла речь о статьях ленинградского космофизика М. И. Пудовкина, он вдруг сказал: «А мы с ним зимовали в Антарктике». И мимоходом вспомнил: однажды во время аврала, когда все работники станции выгружали бочки, Сергей Михайлович увидел, как Пудовкин, выпустив бочку, повалился спиной на снег. Мансуров бросился к нему узнать, в чем дело. Тот предложил ему лечь рядом и указал на небо: «Смотри!» — «Я поднял голову, а там спираль огромная — во все небо — разворачивается!» Они лежали рядом на снегу и смотрели полярное сияние. Другие зимовщики тоже один за другим побросали работу и начали следить за происходящим в небе.

Наши коллеги старшего поколения связаны между собой не только наукой, но еще и героико-романтическим образом жизни. Они и внешне чем-то напоминают друг друга, какой-то простотой обращения, уравновешенностью характера, а за всем этим — небудничность биографий.

Мне посчастливилось знать одного из старейших геофизиков нашей страны — Николая Васильевича Пушкова. Его имя связано с историей освоения Арктики. Памятное время. Тогда, в 1937 году, начала работать

первая советская дрейфующая исследовательская станция в Ледовитом океане. Вся страна с волнением следила за работой четверых зимовщиков — И. Д. Папанина, Э. Т. Кренкеля, Е. К. Федорова, П. П. Ширшова. И вдруг радиосвязь со станцией исчезла. Что-то случилось там, на льдине? В этот тревожный момент руководитель магнитной обсерватории в Павловске под Ленинградом Н. В. Пушков связал происшествие с магнитной бурей и предсказал, что связь скоро восстановится сама собой. По заданию руководства он организовал оперативную службу магнитного поля, дававшую информацию об условиях связи со станцией «Северный полюс».

Потом, перед самой войной, обсерватория переехала в Подмоскowie и была преобразована в Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук СССР — ИЗМИРАН. Николай Васильевич был ее руководителем.

— Николай Васильевич,— спросила я однажды Н. В. Пушкова, когда по дороге на конференцию мы оказались с ним в соседних креслах самолета,— а что пришлось вам делать в войну?

Николай Васильевич рассказал тогда немного о себе. Он был тогда уже не молод и в армию призван не был. Но он подал заявление, чтобы его направили в какой-нибудь партизанский отряд. Так он оказался в Новгородской области в качестве директора средней школы и должен был оставаться на оккупированной территории, если придет враг. Но фашисты до этого района не дошли.

Николай Васильевич вернулся в институт и был почти тут же командирован в Англию за магнитными картами морей Ледовитого океана. Такие карты, если только они не устарели из-за изменений магнитного поля планеты, обеспечивают более точную ориентировку морских и воздушных судов.

Командировка растянулась почти на год. Англию и СССР разделяла фашистская Германия со всеми ее фронтами. Чтобы попасть кружным путем в Англию, пришлось вылететь через нашу южную границу. Однако регулярного сообщения с Англией не было и там. Начальники гарнизонов союзных войск на всякий случай старались побыстрее освободиться от неожиданно залетевшего к ним постороннего русского. Они отправляли его ближайшим бортом независимо от того, куда шел этот борт: в отсут-

ствие регулярных рейсов совсем нетрудно обосновать необходимость лететь не в ту сторону. И Николай Васильевич летел и летел к югу над Африкой, все дальше и от Москвы, и от Лондона. Наконец с западного берега Африки, морем, под угрозой нападения немецких подводных лодок он все-таки добрался до Англии.

Английские карты оказались устаревшими.

Николай Васильевич стал ждать случая выехать домой. И дождался: к северным берегам Советского Союза отправлялся очередной конвой, тот самый, 17-й, который потом назвали «трагическим» *. Английское военное командование в критический момент оставило караван из тихоходных грузовых судов без прикрытия, на произвол судьбы и тем самым обрекло его быть легкой добычей фашистских подводных лодок и авиации. Тогда погибло более двух третей транспортных судов.

Николай Васильевич стоял на палубе и смотрел, как с ясного неба сыпались бомбы, как горели суда, как немецкие самолеты уходили за новым грузом бомб. Рассказывая, он ни разу не упомянул о тревоге за себя, говорил только о том, что происходило вокруг. Вспоминал, как плакала возле него француженка-журналистка, видя гибель транспортов, как радовались потом, когда их неожиданно догнал советский пароход, который уже считали погибшим. Его смогли починить прямо в море.

— Как же вы все-таки дошли, Николай Васильевич?

— Спустился туман и закрыл нас.

И, не меняя тона, так же невозмутимо и просто он рассказывает о своем возвращении в институт, о трудном времени, когда руками сотрудников строился поселок ИЗМИРАНА — строителей взять было неоткуда, шла война.

Когда появились спутники, ИЗМИРАН, руководимый Н. В. Пушковым, повел исследования земного магнетизма и полярных сияний уже на новом, космическом уровне.

Николая Васильевича помнят до сих пор, о нем часто говорят как о присутствующем.

Геофизике и ИЗМИРАНУ посвятил свою жизнь и его

* Конвой — караван военных транспортов и торговых судов, идущих под охраной военных кораблей. Здесь речь идет о конвоях, которые в годы второй мировой войны снаряжались для доставки в Советский Союз по северным морям различных грузов от союзников по антигитлеровской коалиции.

сын Александр Николаевич. В городе, выросшем теперь из небольшого поселка ИЗМИРАНА, есть улица, носящая имя Пушкиных.

Сейчас, когда высокоширотные станции наблюдения перестали быть единственным источником информации о полярных сияниях и связанных с ними явлениях, мы, можно сказать, кабинетные геофизики (или космофизики), сильно разбавили собой круг геофизиков-полярников. И не только мы: исследователи, следящие за состоянием ионосферы по особенностям отражения ею радиоволн, ученые, изучающие верхнюю атмосферу с помощью измерений с борта геофизических ракет,— все мы коллеги. Это не считая еще специалистов по лабораторной плазме, работающих над проблемами управляемой термоядерной реакции, преобразования энергии с помощью плазмы, исследующих физику газового разряда... Случается, что это приводит к неожиданным трудностям: мы не всегда легко понимаем друг друга.

— Чему удивляться! — философски утешаем себя.— В древнем Вавилоне башней хотели до неба дотянуться, и то языки смешались, а у нас — геофизические ракеты и спутники!

Количество экспериментальных данных, получаемых сейчас усилиями ученых разных профилей, огромно. Космофизики говорят (в шутку, конечно), что изучать магнитосферу Юпитера, скажем, легче, чем земную: меньше данных, которые надо увязывать, предлагая какую-нибудь концепцию.

В самом деле, сейчас эксперимент в космофизике намного опережает теорию. Это болезнь роста, она создает свои проблемы, и люди выходят из положения по-разному.

С. М. Мансуров, работы которого пользуются широкой известностью и в нашей стране, и за рубежом, был кандидатом наук. Как-то он сказал мне, что окончательно оставил намерение защитить докторскую диссертацию. Как я поняла, он представлял себе ситуацию так. Его результаты изложены в серии статей. От сборника статей, объединенных общей идеей, диссертация отличается, грубо говоря, тем, что у нее есть вступление и заключение. У экспериментатора они должны включать изложение теорий вопроса, которым он занимается, и сопоставление их с наблюдениями. Обычно экспериментатор сам теорий не создает, а обсуждает существующие. Что должен был обсуждать Сергей Михайлович? Вспо-

мним слова теоретика Б. А. Тверского по поводу эффекта Мансурова—Свалгаарда: «По двенадцати часов в сутки думаю, и ничего придумать не могу». Были теоретики, которые предлагали свое объяснение эффекта, но Сергею Михайловичу их рассуждения не казались убедительными. Поэтому он не хотел разбирать, подтверждаются их выводы его наблюдениями или нет.

Бывает и другое. Представим себе семинар. У доски стоит теоретик, слушает его экспериментатор. Результаты наблюдений экспериментатора надежны, и он в них уверен. В докладе теоретика хромает логика. (Нильс Бор когда-то сказал, что «недостаточно сумасшедшая теория» не может быть верной. Но что сказать о теориях «слишком сумасшедших», которые ничего не стоит придумать, например рассуждая по схеме «в огороде бузина, а в Киеве дядька»?) Однако экспериментатор говорит: «Для нас не так важно, как вы все это получили, важно то, что вы получили». И начинает сопоставлять выводы теоретика со своими экспериментальными результатами. Причем это «не так важно» относится не к стандартным математическим выкладкам, в которые можно не вникать (потому что, вникнув, получишь тот же самый результат), а к самому смыслу концепции! А ведь неверной теорией порой намного легче «объяснить» экспериментальный результат, чем верной. Вспомним, как легко объясняла когда-то теория флогистона тепловые явления. К тому же в ней не было внутренних логических противоречий, которые встречаются в теоретических построениях, подогнанных под очередной успех экспериментальной космофизики.

Почему же все-таки есть спрос на скороспелые теоретические концепции? Не знаю. Может быть, их берут на вооружение просто как средство хранения информации: любая концепция, верная или неверная, имеет дело не с одним экспериментальным фактом, а с несколькими. В сочетании факты легче запоминаются, чем разрозненные. Возможно, это ритуал: эксперимент полагается сравнивать с теорией, а за правильность теории пусть отвечает ее автор. Похоже, это издержки узкой специализации; говорят же сейчас, что специалистов становится все больше, ученых все меньше, и в мире нарастает тревога: сможет ли мозаика научных знаний заменить человечеству науку.

Но ясно одно: если бы такое отношение к теории было

всеобщим, наша наука давно бы перестала относиться к точным, основанным на математически строгой и безупречной логике.

Сергея Михайловича Мансурова уже нет с нами. Можно сказать, он продолжал работать до самого последнего момента своей жизни: июньским днем 1980 года был на заседании ученого совета, где выступал человек, с выводами которого Сергей Михайлович не был согласен; хотел задать ему вопрос, и вдруг сердце его остановилось. Наверное, он знал, что такое может случиться: в руке у него была зажата стеклянная трубочка с нитроглицерином. В тот день резко менялась погода. Шел год активного Солнца. Сергей Михайлович, который много внимания уделял проблеме солнечно-атмосферных связей и влияния космических событий на самочувствие больных, предупреждал других, что в такие времена сердечникам надо быть особенно осторожными.

Только когда все это произошло, я осознала вдруг, что был он далеко не молод — под семьдесят. Удивительно: до самого последнего дня ровным счетом ничего стариковского не было в его облике. И это при том, что он уже перенес несколько тяжелейших сердечных приступов, его с трудом отхаживали врачи. Между этими, по существу, смертями он не доживал — жил. Физически он, конечно, был слаб. Но это как-то не замечалось. Он был очень доброжелателен, пытлив, собран, внутренне готов к нагрузкам. Его называли рыцарем, и невидимая кольчуга мужества явственно ощущалась на нем.

**Планета Земля
(Вместо послесловия)**



Наша голубая планета из космоса имеет удивительно красивый вид. Она прекрасна, но и поразительно мала...

И вдруг понимаешь, что сама Земля — это космический корабль, который несётся в космосе. Он имеет ограниченные ресурсы и экипаж — человечество, которое должно беречь свою планету, ее ресурсы, беречь себя.

Космонавт В. И. Севастьянов

До сих пор речь шла о том, где кончается космический корабль — Земля и начинается космос, о связи жизни «на борту» с окружающей средой — ближним космосом, о процессах в этой среде. В заключение надо сказать, хотя бы очень коротко, о тех проблемах, острота которых, по общему признанию ученых, нарастает.

Людей на Земле становится все больше, потребление природных материалов растет, ресурсы давно перестали казаться безграничными. А люди своим отношением к планете часто напоминают злую старуху из сказки, которой хотелось, чтобы золотая рыбка, давшая ей все, была у нее еще и на посылках.

Под влиянием человека изменяется атмосфера — оболочка, закрывающая нас от космического холода и смертоносной радиации. Как никогда остро стоит сейчас вопрос о границах дозволенного в этих изменениях. Обсуждать этот вопрос легко: материалов накопилось много, дать даже частный ответ на него очень трудно. Например, в холодильных установках и аэрозольных баллонах широко используют особые вещества — так называемые фреоны. Сами по себе они безвредны для человека, но в принципе они могут стать причиной гибели всего живого на Земле. Дело в том, что при всякой

утечке фреоны всплывают, поднимаются до стратосферы и портят там слой озона — естественную нашу защиту от ультрафиолетового излучения Солнца. Специалисты по атмосфере обеспокоены постоянным увеличением фреонной примеси в разреженных слоях воздуха. Однако Международный институт холода оценивает положение так: колебания естественного уровня озона в атмосфере больше, чем те изменения, что связывают с фреонами, при замене же фреонов в холодильниках на что-нибудь другое возникает опасность взрывов, а это еще страшнее для людей, чем частичное разрушение озонового слоя. Каждая сторона кажется по-своему правой, проблема же остается.

И все-таки с фреоном в атмосфере еще сравнительно просто: он весь, как говорят, антропогенного происхождения, то есть весь выпущен человеком. Если остановиться то, по крайней мере, можно быть уверенным, что в атмосфере его больше не станет.

Хуже с углекислым газом CO_2 , который совершает сложный кругооборот: идет взаимообмен этим газом между Мировым океаном и атмосферой, из атмосферы его забирают зеленые растения, от них — животные; дыхание растений и животных, а также разложение их останков возвращает его атмосфере. Часть этого газа выбывает из кругооборота ввиду того, что зеленые растения служат исходным материалом для образования ископаемых — торфа, угля и нефти. Все звенья этой цепи действуют как единый сложный, хорошо отлаженный механизм, человечество обязано ему своим существованием на планете.

Современный человек вмешивается в работу этого механизма весьма решительно: обеспечивая себя энергией, сжигает горючие полезные ископаемые растительного происхождения (то есть снова выпускает в атмосферу выбывший из кругооборота углекислый газ), сводит леса, загрязняет океан, с лихостью берется за «преобразование природы». И вмешательство это — пока в сущности слепое, потому что по-настоящему исследовать этот кругооборот люди еще не успели. Общей тревогой нашего времени должно быть резкое несоответствие между очень большими возможностями непреднамеренного или преднамеренного воздействия на природу и еще крайне ограниченными способностями прогнозировать результаты такого воздействия.

Специалисты по атмосфере сейчас много работают, чтобы выявить климатические изменения, которые могут последовать за увеличением содержания CO_2 в воздухе. По отношению к поверхности Земли и приземному воздушному слою атмосферный углекислый газ действует как стекло в теплице: благодаря его присутствию повышается температура нижнего слоя атмосферы — возникает так называемый «парниковый эффект». В 1939 году Дж. Каллендер высказал предположение, что причина потепления на Земле может быть антропогенной — за счет повышения концентрации CO_2 в атмосфере при сжигании ископаемого топлива. Долгое время это предположение не вызывало интереса, поскольку считалось, что почти весь углекислый газ, выбрасываемый с промышленными отходами, поглощается водами океана и тем самым выводится из атмосферы. Наблюдательных же данных было слишком мало, чтобы составить представление об общем количестве CO_2 в земной атмосфере. Но первые прямые измерения, проведенные с достаточной точностью, которые начал в 1958 году в США Килинг, позволили экспериментально подтвердить гипотезу о том, что «обогащение» земной атмосферы двуокисью углерода — это прямое следствие хозяйственной деятельности человека. Сжигание ископаемого топлива и расчистка земель привели за последние 110 лет к тому, что CO_2 в атмосфере стало больше на 13 процентов. Сформировалось мнение, согласно которому загрязнение земной атмосферы углекислым газом может вызвать серьезные изменения климата.

Двуокись углерода не является единственной «парниковой молекулой» в атмосфере. Нельзя пренебрегать присутствием других малых компонент атмосферного воздуха — водой, окисью азота, метаном, озоном, фтористым углеродом, теми же фреонами. Хотя влияние увеличенного (и увеличивающегося) содержания окиси азота, метана или озона, взятых порознь, и невелико, но совместный эффект составляет примерно 50 процентов тепляющего воздействия, обусловленного концентрацией CO_2 .

Многое надо учитывать и рассматривать. И тщательность изучения требуется очень большая: изменение средней планетарной температуры более, чем на $0,1^\circ\text{C}$ уже существенно, если продержится долгое время; с изменением же этой температуры на $1\text{--}2^\circ\text{C}$ связывают

крупнейшие климатические перестройки. К сожалению, для современной науки такие требования пока непосильны. Нет удовлетворительной теории климата, а значит, нет полного понимания, нельзя построить достаточно достоверного прогноза — все это мы уже обсуждали в главах 9, 12, 13. Как пишут в своей книге «История климата» А. С. Монин и Ю. А. Шишков, «в настоящее время климатологи лишь спорят друг с другом, например, о том, чем было вызвано климатическое потепление первой половины 20-го столетия; происходит ли в 70-х годах резкое похолодание или наоборот, начинается резкое потепление; что приводит к увеличению повторяемости засух — климатические потепления или, наоборот, климатические похолодания, и т. д. Это неудивительно, поскольку климатология лишь в середине текущего столетия начала переходить от стадии описания (да и то затрагивавшего главным образом состояния только приземного слоя атмосферы, т. е. сравнительно небольшой части «климатической системы») к стадии объяснения».

Однако сейчас положение стало быстро меняться к лучшему. Арсенал средств наблюдения пополнили океанографические спутники. С борта спутника можно измерить расстояние до воды и затем составить топографическую карту поверхности океана. Такая карта позволяет найти (в определенном приближении) скорость океанских течений. С помощью спутниковых измерений можно построить карту относительной температуры океанских вод. По такой карте тоже можно следить за течениями, можно также выявить циклонические (по холодному ядру) и антициклонические (по теплоте ядру) «мезомасштабные» вихри — есть в океане такие аналоги атмосферных циклонов и антициклонов. Со спутника можно следить за шероховатостью поверхности океана, что позволяет судить о величине и направлении ветра над океаном. Нельзя сказать, чтобы данных было с избытком: океан велик, характеристики же хотелось бы иметь детальные и разнообразные, но это все-таки грандиознейший шаг вперед по сравнению с недавним временем, когда об изменчивых океанских течениях приходилось судить на основании данных о сносе судов, бутылочной почты (!) и замеров с помощью немногочисленных заякоренных буйковых станций.

Наметился успех в понимании взаимодействия океан — атмосфера. Академику Г. И. Марчуку и его сотрудникам

удалось теоретически установить, что аномалии температуры воздуха сильно зависят от процессов, происходящих в некоторых районах Мирового океана, где в атмосферу из океана переходит огромное количество тепла. Эти районы получили название энергетически активных зон океана. Реальное существование этих зон было подтверждено данными глобальных наблюдений теплового баланса, а также замеченными ранее связями между состоянием океана и последующей погодой.

Когда говоришь о физическом изучении погоды и климата, то обязательно приходится отмечать сложность задачи, взаимосвязанность явлений, которые определяют состояние атмосферы (см. главы 9 и 13). Но нельзя ли разбить сложную задачу на какие-то более простые и последовательно решить их? Как «разобрать на части» механизм, обеспечивающий погоду, чтобы по отдельности «прощупать» его основные узлы? В таких случаях физики обычно прибегают к лабораторному моделированию. (Сейчас еще проводят математическое моделирование — «проигрывают» на электронно-вычислительных машинах различные более или менее упрощенные варианты решения интересующей задачи; путем такого моделирования и были, кстати, получены оценки, которые мы использовали при обсуждении эффектов CO_2 и фреонов.) Однако построить установку, даже весьма упрощенно моделирующую атмосферу, очень трудно. Плотность «газа» в такой искусственной атмосфере должна нарастать к «поверхности Земли». В настоящей атмосфере нарастание обусловлено силой тяжести, но тяготение пока неподвластно человеку, и в лабораторных условиях манипулировать им мы не можем. Из чего-то надо еще сделать искусственные океаны, обменивающиеся с «атмосферой» влагой, теплом и движением; все это должно вращаться, иначе океанские и воздушные течения окажутся непохожими на реальные (о роли вращения шла речь в гл. 13). При этом остается еще не отраженной роль небольших, но коварных примесей, о которых тоже шла речь выше.

Опробовать отдельные узлы в наших представлениях об атмосфере должны помочь космические корабли. Они уже начали поставлять данные об атмосферах других планет. Эти атмосферы можно рассматривать как своеобразные модели земной.

Например, нужно исследователю абстрагироваться от

эффектов вращения — он может обратиться к материалам по Венере, которую систематически осваивают наши межпланетные космические станции. Эта планета вращается в 225 раз медленнее, чем Земля. Кроме того, на ней нет морей, осложняющих течение атмосферных процессов. У Венеры поэтому должна быть самая простая «кухня погоды». Эту «кухню» удобно использовать как эталон, с которым сравниваются более сложные случаи.

Если ученого интересует возможность потепления из-за избыточного содержания CO_2 в атмосфере, он будет сопоставлять свои материалы и выводы с данными по Венере и Марсу. Углекислый газ содержится в атмосферах обеих планет, но на Марсе атмосферный слой тонкий, парниковый эффект проявляет себя слабо, и Марс остается холодной планетой; на Венере же с ее мощной атмосферой, на 97 процентов состоящей из углекислого газа, температура на поверхности планеты — как полагают, из-за действия парникового эффекта — примерно такая же как, в топке паровозного котла — свыше 400°C . Этот «ад» на Венере — еще одно предупреждение человечеству по поводу неосмотрительного обращения с углекислым газом на своей планете. Когда речь идет о том, что фреоны в атмосфере способствуют разрушению озонового слоя, сопоставляют атмосферы Земли и Марса. Озонный слой на Марсе имеет клочковатую структуру, хотелось бы выяснить, за какие климатические особенности Марса отвечают «прорехи» в его озоновом слое. Известно, что на Марсе есть циклоны и антициклоны. Было бы интересно подробнее проследить за их развитием и движением, которые там не осложнены присутствием морей.

Циклоны, антициклоны... От их внутренней сущности отвлекаются, когда говорят о климате: в климате отражен лишь суммарный итог деятельности загадочных атмосферных вихрей. Что же все-таки представляют собой эти образования — носители погодных аномалий? В последние годы «поддался» изучению замечательный вид волн — солитоны — одиночные волны, сохраняющие свою форму при движении и без изменений проходящих друг сквозь друга.

Недавно советский физик В. И. Петвиашвили установил, что решение солитонного типа есть и у уравнений, описывающих атмосферу. Образование, которое соответствует этому решению, по своим свойствам очень

близко антициклону. Выходит, антициклон — солитон? Для существования этих образований важно вращение планеты.

Интересен философский аспект изучения физиками солитонов. Солитон — это волна, волны характерны для среды. Но этот же солитон в некоторых отношениях похож на частицу: он ясно выделяется на фоне породившей его среды, остается «самим собой» после взаимодействия с другим солитоном (что аналогично сохранению частицей своей «индивидуальности» после упругого столкновения с другой частицей). При грубом восприятии солитона (какое было бы у нас, если бы мы лишь фиксировали область пространства, где находится солитон, и не знали бы ни его «внутреннего устройства», ни того, что он представляет собой возмущение среды) мы могли бы принять его за частицу в вакууме. Таким образом, изучая солитоны, мы входим в круг вопросов о самом мироздании. При этом мы можем ощутить, как идет самоорганизация возникшей неоднородности, растет ее упорядоченность (первоначальную однородность вполне можно считать беспорядком, хаосом: ведь чем больше хаос, тем больше он напоминает однородность). Обо всем этом мы уже говорили в главе 13, обсуждая зарождение и развитие атмосферных вихрей. Но такие же явления волнуют сейчас физиков других специализаций, химиков, биологов, математиков, обществоведов. Иногда об этих общих поисках, о заинтересованном обсуждении результатов, которое ведут совместно ученые разных специальностей, говорят как о зарождении новой науки. Определилось ее название — синергетика, от греческих слов «син» — «вместе» и «энергос» — «действующий», «работающий».

Мы видели, с каким старанием и напряжением современная наука ищет решения экологических вопросов. И пусть для многих из них решения пока не найдены, — потребительское отношение к родной планете должно быть преодолено уже сейчас.

В нашей стране еще в 1972 году Верховный Совет определил охрану природы и рациональное использование природных ресурсов как одну из важнейших общегосударственных задач. Государственные капитальные вложения в осуществление эффективных мер по охране природы и рациональному использованию природных

ресурсов только за годы десятой пятилетки составили 9281 миллион рублей, а общая сумма затрат на эти цели (включая операционные расходы по лесному хозяйству) — более 26 миллиардов рублей. На реализацию природоохранных мероприятий за один 1983 год направлено 1,9 миллиарда рублей.

Планета у нас у всех одна. Многие экологические проблемы глобальны, и потому их решение возможно только общими усилиями — народов и правительств. Вот почему так настойчиво наша страна добивается здесь взаимопонимания, а главное — предотвращения термоядерной катастрофы, запрета на производство химических, бактериологических и прочих опасных средств ведения войны, запрета на милитаризацию космоса.

Постскриптум. Грозные вихри на русской равнине. На памяти людей старших поколений — страшный московский смерч 1904 года. Этот смерч возник 29 июня 1904 года в системе циклона, шедшего в обычном для Русской платформы направлении на северо-восток. Сначала образовалось громадное кучево-дождевое облако. Его видели в Тульской губернии, откуда оно ушло в Московскую, а затем в Ярославскую.

Облако породило несколько смерчевых воронок. Появление одной из них описал сельский учитель, следивший за приближением громадной грозовой тучи. Он видел все с самого начала. На нижней поверхности тучи небольшие, более светлые облачка как-то странно и быстро хаотически двигались в разные стороны. Постепенно движение становилось спиральным, и вдруг из середины спирали свесилась серая остроконечная воронка. Воронка просуществовала недолго и быстро втянулась обратно в облако. Учитель взглянул на часы. Было 4 часа 35 минут пополудни.

Через несколько минут рядом появилась другая воронка. Она быстро увеличивалась в размерах и отвисала к земле, навстречу ей с земли поднялся столб пыли, становившийся все выше. Еще немного — столб и воронка соединились, и учитель с ужасом понял, что перед ним возникла колонна смерча.

Но смерч двинулся от него. Он шел по направлению движения облака, к северо-востоку. Колонна расширилась кверху, была расплывчатой и постепенно становилась все шире. Вот она дошла до ближайшей деревни, и в воздух взлетела первая изба, за ней другая, третья...

Воздух вокруг воронки наполнился обломками строений, ветвями и обрывками деревьев. В нескольких километрах шла другая воронка, также вызывая сплошные разрушения. По-видимому, была и третья — такой же разрушительной силы.

Хотя воронки были расплывчатыми, полосы разрушений имели ясные и резкие границы. Одна из воронок пересекла Москву-реку, на несколько секунд обнажив ее дно, при этом образовалась как бы траншея с водяными стенками. Когда надвигалась воронка, становилось совершенно темно; шум, рев и свист заглушали все. Частые громадные молнии стали причинами гибели и ожогов людей, вызвали ряд пожаров. Местами выпадали градины величиной с куриное яйцо. Отдельные градины, самые тяжелые, имели вид звезды, их вес доходил до 400—600 граммов.

На Немецком рынке городской попал в самый вихрь; его высоко подняло в воздух и, хотя он летел в потоке воздуха, «колотило градинами»; затем его отбросило в сторону. Когда он пришел в себя, на нем лежали двое мужчин, женщина с разбитой головой и лошадь.

Разрушения коснулись прежде всего деревянных строений, прочным каменным домам были нанесены лишь отдельные повреждения — с них срывались крыши, в оконные проемы залетали разные предметы, иногда — деревья (и даже толстым концом вперед).

По дальности полетов тяжелых предметов можно оценить скорость ветра в смерче, а также мощность его. Если использовать такую оценку и сравнить московский смерч 1904 года со смерчами в США, то его надо отнести к разряду средних. Длина пути главной воронки определялась современниками в 40 верст, но, скорее всего, это был путь, пройденный несколькими воронками, сменявшими друг друга. Общая длительность события была, вероятно, порядка часа. Ширина полосы разрушений — от нескольких сот метров до километра и более. Силу ветра можно «прочувствовать» по такому факту: громадная, массивная фабричная труба из металла была согнута и вершиной легла на мостовую.

Грозные смерчи обрушились на среднюю полосу России и летом 1984 года, 9 июня. Также после полудня. Также порожденные циклоном. Они прошли по территории Ивановской, Костромской и Ярославской областей. Это был летний выходной, когда люди стремятся быть на

природе. Повторился московский смерч 1904 года? Не просто повторился: сила ветра теперь была больше, об этом говорит тот факт, например, что пятидесятитонный бак водонапорной башни на территории туристского комплекса был сорван ветром и отнесен метров на двести в сторону. Градины выпадали величиной с голубиное яйцо.

Другие смерчи средней полосы такой сокрушительной силы не достигали. Но случаются они не так уж редко: неоднократно в нашем столетии возникали смерчи в Москве и Московской области, большие разрушения вызвал смерч 1953 года в Ростове Ярославской области, было 4 смерча в Арзамасе, прошли значительные смерчи у Мурома и у Курска и т. д.

Сила смерча, по-видимому, связана с высотой грозового облака, из которого этот смерч происходит. Чем ниже идет над Землей это облако, тем толще и разрушительнее смерч. Описанные сильные смерчи вызывали разрушения в полосе, шириной примерно в полкилометра. Полоса же длинных, тонких («змееобразных») смерчей очень узка, иногда составляет всего лишь несколько метров.

Следы такого «микросмерча» автору довелось видеть под Москвой, недалеко от Наро-Фоминска, летом 1983 года. Смерч прошел через ельник-сеянец. Елки в нем были все одной высоты (примерно в полтора человеческих роста), чахлые из-за слишком густой посадки — стояли они почти вплотную. Как будто кто-то специально приготовил все для физического эксперимента: однородность условий выдержана, каждый клочок площади «проявлен» деревьями.

От прохода смерча остались «поляны» в чаще. Деревья на них повалены, перепутаны и скрещены, кажется, как попало. Но, разглядывая, можно сделать определенные выводы о смерче. По силе он был невелик: каких-нибудь раздавленных, раскрошенных деревьев не видно. Нет и подброшенных в воздух: ни одно дерево не висит вверх ногами, хотя выдернутых с корнем немало. Горизонтальная вращательная скорость ветра явно немного превосходила скорость его продвижения вдоль пути: деревья ломались при закручивании. Особенно хорошо это было видно там, где деревья росли буквально рядом, соприкасаясь стволами по несколько штук вместе. Деревья в этих «пучках» были повалены или надломлены так, что их макушки указывали совершенно разное

направление. Но некоторые деревца упали вершина к вершине, торец к торцу. Слом у таких деревьев приходился на самую нижнюю часть ствола, у корня. Если они лежали прямо на земле, то напоминали сложенную человеком связку хвороста.

По лесу смерч шел подпрыгивая: то касаясь земли, то поднимаясь в воздух, и след оставил прерывистый в виде пятен и полос, порой изогнутых и не очень длинных. Границы их, как и полагается, были четкими: шаг-два в сторону — и поднимается нетронутая еловая щетина. Прошедший смерч смог проявить типичные смерчевые признаки при удивительно малых размерах: встречались правильные круглые пятна от силы четыре метра диаметром! Такой «микросмерч» вполне бы мог сойти за Белого человека Антипаютинской тундры (о нем шла речь в главе 9).

Что же думают о смерче физики? Об общих проблемах зарождения и «самоорганизации» вихря шла речь в предыдущем разделе. Но у смерчей есть особое качество — тесная связь с грозовым «материнским» облаком. А грозовое облако — это уже не обычный нейтральный воздух, в нем есть свободные носители электрического заряда. Это уже плазма, проводящий газ (см. главы 4 и 5). Ученые добились определенных успехов, рассматривая смерч как плазменную систему.

ЛИТЕРАТУРА

Борисенков Е. П., Пасецкий В. М. Экстремальные природные явления в русских летописях XI—XVII вв. Л., Гидрометеиздат, 1983.

Гальперин Ю. И. Полярные сияния в магнитосфере. М., Знание, 1975.

Исаев С. И. Полярные сияния. Мурманск, Кн. изд-во, 1980.

Казимировский Э. С. Мы живем в короне Солнца. М., Наука, 1983.

Мизун Ю. Г. Полярные сияния. М., Наука, 1983.

Мирошниченко Л. И. Солнечная активность и Земля. М., Наука, 1981.

Монин А. С. Шишков Ю. А. История климата. Л., Гидрометеиздат, 1977.

Наливкин В. Д. Ураганы, бури и смерчи. Л., Наука, 1969.

Почтарев В. И. Земля — большой магнит. Л., Гидрометеиздат, 1974.

Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Сб. под ред. Мустеля Э. Р. Л., Гидрометеиздат, 1974.

Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. М., Мысль, 1976.

Эгеланд А. Исследования полярных сияний в Скандинавских странах. — В кн.: Наука и человечество. М., Знание, 1982.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Пожар небес	4
2. Истоки и источники	12
3. Полярная звезда и маленькие упрямые стрелки	19
4. Точки опоры	30
5. Философская загадка космофизики, или Можете сами побыть космофизиком	42
6. Там, где исчезает голубой цвет неба	59
7. Говорит и показывает космос	68
8. Несколько фунтов вещества	79
9. Удачный отпуск и его последствия	86
10. Факты	97
11. Подробности	106
12. Долгосрочный прогноз	113
13. Откуда берутся вихри?	120
14. А нам все равно?	132
15. Редкости и чудеса	138
16. Включите нам полярное сияние!	141
Планета Земля (Вместо послесловия)	149
Литература	159

Лилия Михайловна Алексеева

НЕБЕСНЫЕ СПОЛОХИ И ЗЕМНЫЕ ЗАБОТЫ

Главный отраслевой редактор *В. П. Демьянов*

Редактор *Н. Ф. Яснопольский*

Мл. редактор *Н. А. Васильева*

Художник *М. А. Дорохов*

Худож. редактор *М. А. Бабичева*

Техн. редактор *Л. А. Солнцева*

Корректор *В. Е. Калинина*

ИБ № 7024

Сдано в набор 11.05.84. Подписано к печати 06.12.84. А 14275.
Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 8,40. Усл. кр.-отт. 8,82. Уч.-изд. л. 8,70.
Тираж 100 000 экз. Заказ 4—1459. Цена 25 коп. Издательство «Знание».
101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д 4 Индекс заказа
857703.

Головное предприятие республиканского производственного
объединения «Полиграфкинг» 252057, Киев, Довженко, 3.

25 коп.

Издательство "Знание"
Москва 1985

