

Космическая погода и физическая химия

Доктор
физико-математических
наук
Б.М.Владимирский

Возможно, одной из наиболее важных проблем современной науки является механизм влияния сверхслабых воздействий (связанных, по-видимому, с явлениями, происходящими вне нашей планеты) на результаты различных процессов, включая биологические...

Л.А.БЛЮМЕНФЕЛЬД.

Решаемые и нерешаемые проблемы
биологической физики

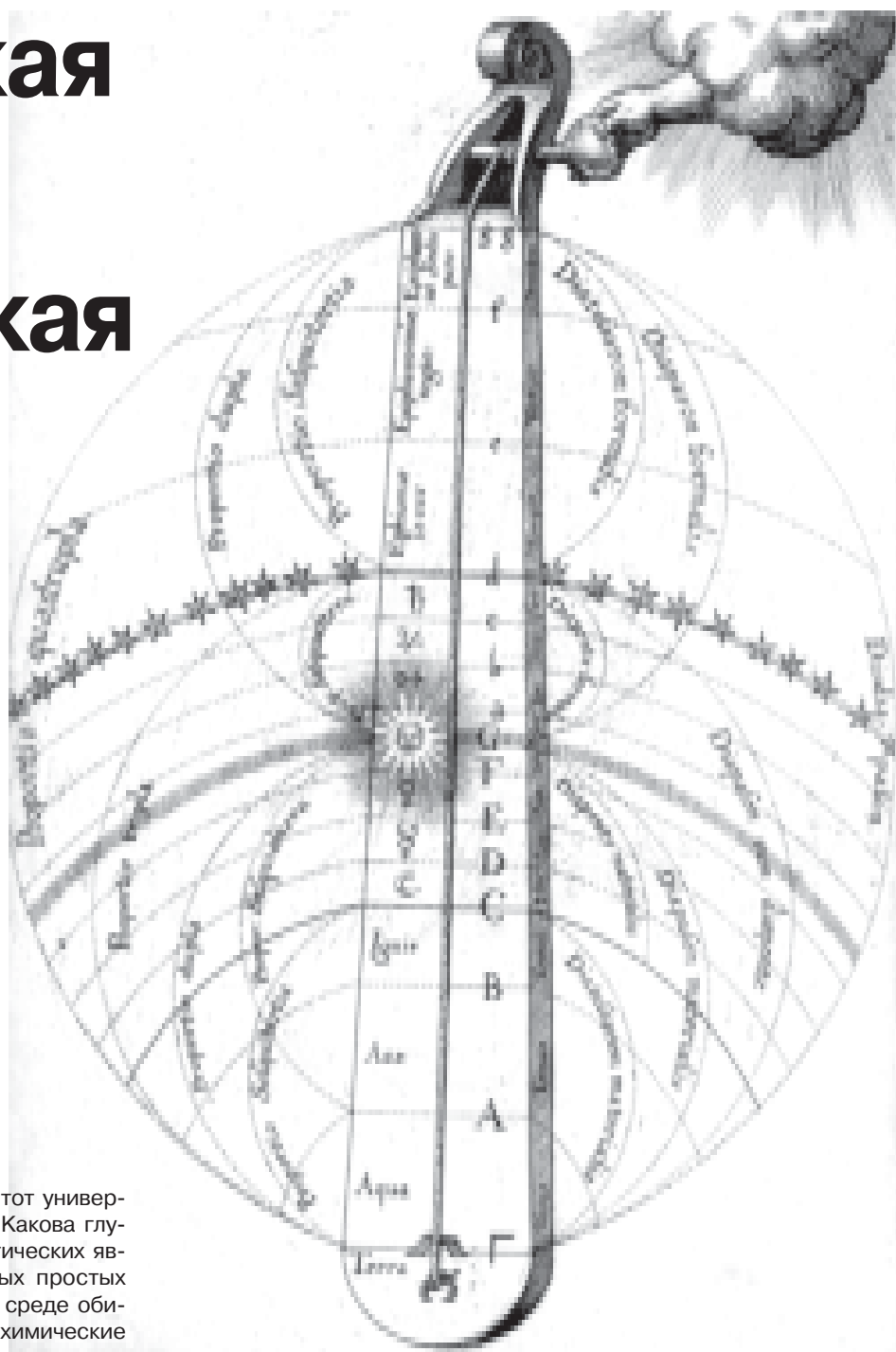
Тесты воды

Как возникает гелиобиология? Откуда берется тот универсализм, о котором шла речь в первой статье? Какова глубинная причина тотальной зависимости биологических явлений от космической погоды? Одно из самых простых объяснений состоит в том, что действующие в среде обитания космические факторы влияют на физико-химические процессы. Тогда гелиобиология — вторична и оказывается неизбежным следствием открытости физико-химических систем для космических воздействий. Конечно, предположение, что в своей основе солнечно-биосферные связи — отнюдь не специфическое биологическое явление, необязательно влечет за собой предположение о воздействии космической погоды вообще на физико-химическую кинетику. Долгое время казалось, что можно ограничиться гипотезой более скромной: об особой чувствительности к космическим агентам одной физико-химической системы — водного раствора. Ведь воде в биологических процессах принадлежит совершенно исключительная роль.

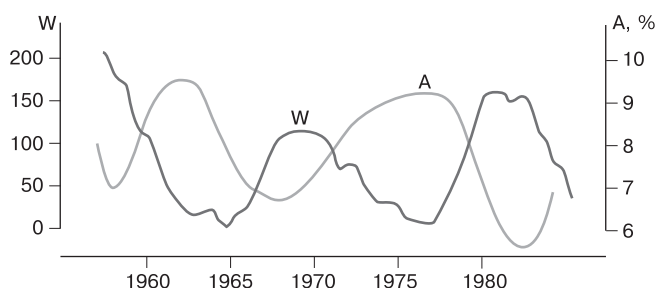
Действительно, во второй половине XX века многие исследователи регистрировали те или иные показатели водных растворов при систематическом проведении тестовых реакций — когда данный процесс повторяется строго

единообразно изо дня в день длительное время, в идеале десятилетиями, чтобы можно было заставить разные фазы цикла солнечной активности. Постепенно были выработаны удобные для измерений методические приемы. Замечательный пример — процедуры, предложенные для физико-химических реакций профессором Дж. Пиккарди, который с 1946 года возглавлял Институт физической химии при университете Флоренции. Они позволяли проводить стандартизованные тесты с применением веществ разной степени чистоты руками операторов-непрофессионалов, поскольку суть состояла в измерении скорости осаждения осадка, образующегося при реакции простейших неорганических соединений.

Информация о наиболее важных и интересных экспериментах такого рода сведена в таблице на стр. 16—17. В первой колонке названы авторы, предложившие данный

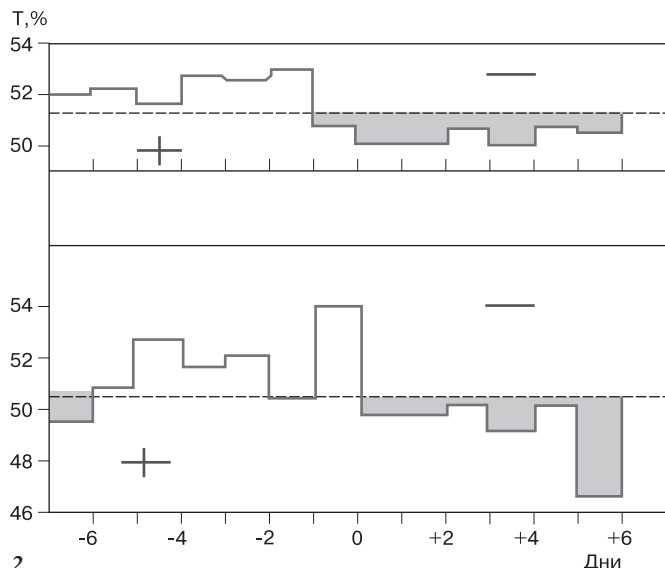


Продолжение. Начало в № 1, 2009.



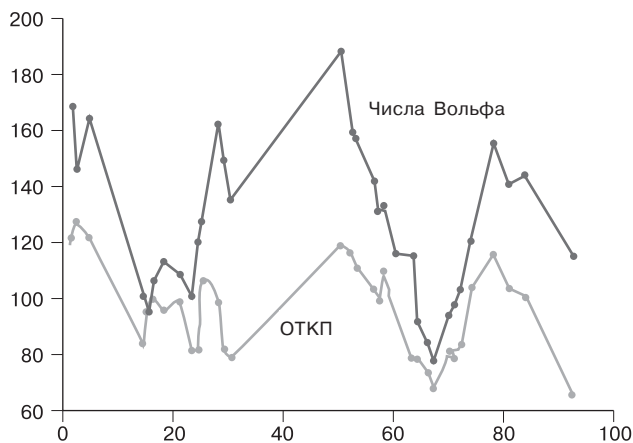
1

Если в течение нескольких десятилетий измерять скорости химических и биохимических реакций, то можно заметить, что величина их флуктуаций связана с солнечной активностью (по данным Н.В.Удальцовой, В.А.Коломбета и С.Э.Шноля) A — нормированная среднеквадратичная амплитуда флуктуаций скоростей; W — значение числа Вольфа



2

Построив зависимость индекса теста F , предложенного Дж.Пиккарди от даты до и после прохождения границы секторов межпланетного магнитного поля, можно заметить, что этот индекс изменяется закономерно (0 соответствует дате прохождения границы). Верхний график построен методом наложения эпох для всей совокупности данных наблюдений за период 1951–1967 гг., нижний — контрольный список, в котором учтены только границы, определенные прямыми методами (Б.М.Владимирский, 1989)



3

На графике видно, что относительный температурный коэффициент электрической проводимости воды (ОТКП) коррелирует с солнечной активностью (числа Вольфа). По горизонтальной оси — номера дней после начала измерений (И.М. Агеев, Г.Г. Шишкин, 2002)



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

тест. Далее следует краткое описание сути опытов, и в третьей колонке перечислены космофизические индексы, для которых удалось обнаружить корреляционную связь.

Первую строчку таблицы занимает колба Фицроя — устройство по сей день загадочное. (Интерес к этому прибору в новейшее время возродился в значительной мере под влиянием публикаций в «Химии и жизни», появившихся благодаря В.Е.Жвирблису, см. 1979, № 6; 1980, № 2; 1983, № 8). Процессы, протекающие в колбе, всегда рассматривались как обратимая метеотропная реакция. Только сравнительно недавно выяснилось, что растворимость жидкости в колбе изменяется под действием радиоволн, приближающихся к пункту наблюдения атмосферных фронтов. Новейшие наблюдения показывают, что колба чувствительна также к электромагнитным возмущениям космического и сейсмического происхождения. Отмеченная особенность — восприимчивость системы одновременно к региональным и глобальным сигналам — свойственна и другим тест-реакциям — Г.Бортельса, Дж.Пиккарди, В.В.Соколовского. Эта закономерность позволяет сделать предположение об электромагнитной природе действующего агента. Еще один независимый аргумент в пользу этой гипотезы — влияние на кинетику тест-реакций электромагнитного экрана, которое выявили работы Г.Бортельса и Дж.Пиккарди.

Чрезвычайно важная феноменологическая закономерность — присутствие в динамике многих тестов космической ритмики, такой же, как в гелиобиологии. Вполне надежно обнаруживается период 28 ± 1 суток — синодический период Луны, эррингтоновы солнечный период 27,275 суток (обращение центральной части солнечного шара). Найден и 11-летний цикл солнечной активности (рис. 1).

Но может быть, самый значительный результат анализа данных по тест-реакциям — выявление их отклика на прохождение границ секторов межпланетного магнитного поля (ММП, рис. 2). Этот эффект давно используется в гелиобиологии. Поскольку, как уже было сказано, при таком прохождении быстро меняется спектр фоновых электромагнитных полей на низких частотах, считается, что если данная тест-реакция чувствительна к прохождению секторных границ ММП, то она восприимчива к электромагнитным возмущениям. Из тестов с водными растворами эффект секторных границ надежно обнаружен для одного из тестов Пиккарди, теста Соколовского и «кольцара Лазарева» (рис. 2). Космофизические корреляции для водных растворов были обнаружены также в опытах с систематическим мониторингом некоторого параметра одного и того же образца (рис. 3). И в этих случаях аналогия с гелиобиологией выявилась в полной мере.

Обобщение такого рода данных и привело к концепции, согласно которой универсальным сенсором («датчиком») космической погоды оказывается вода. В окончательном виде эта схема была сформулирована сотрудниками Дж.Пиккарди, бельгийской исследовательницей Кармен Капель-Боут: гелиобиология имеет место пото-

му, что вода — то самое вещество, которое сверхчувствительно к внешним воздействиям — прежде всего электромагнитным, но, возможно, и каким-то иным.

Эту стройную и во многом привлекательную гипотезу «торпедировал» сам Дж.Пиккарди: он разработал неводный тест с затвердеванием расплавленного нафталина и обнаружил, что это вещество ведет себя точно так же, как водные растворы. Соответствующие публикации середины 60-х годов прошли в свое время почти незамеченными. Но именно они знаменуют переход к новому, современному этапу исследования обсуждаемой проблемы.

Космические ритмы в шуме полупроводников

Дальнейший, относительно быстрый прогресс в рассматриваемых исследованиях был обусловлен прежде всего важной методической новацией — применением автоматизированного мониторинга. Для выбранной системы оказалось возможным все время измерять некоторый параметр — с желаемой частотой и сколь угодно долго.

Впервые обширную многолетнюю серию таких наблюдений провел С.Э.Шноль со своими сотрудниками в пущинском Институте теоретической и экспериментальной биофизики РАН. В качестве тест-систем использовали альфа- и бета-радиоактивные изотопы со всевозможными детекторами, включая сцинтилляторы и полупроводниковые счетчики. Исследователи регистрировали число распадов в единицу времени, точнее, скорость счета этих распадов и при этом сравнивали данные синхронных измерений в далеко отстоящих друг от друга пунктах. Как оказалось, скорость счета при обоих видах распада непостоянна, а в ее вариациях один из самых популярных космофизических периодов 29±2 суток (давно известный в гелиобиологии и динамике водных тест-реакций) был обнаружен почти сразу.

В адрес этих работ неоднократно делались критические замечания. Отчасти оппозиция вызвана применением необычного метода особо чувствительного анализа (изучение формы распределения числа распадов в единицу времени, см. «Химию и жизнь», 1990, № 7. — Примеч. ред.). Еще одна причина — неоднозначность в истолковании природы вариаций скорости счета. При регистрации любого ядерно-физического явления всегда есть система-посредник: сцинтиллятор (жидкость, пластик, монокристалл), полупроводниковая структура,

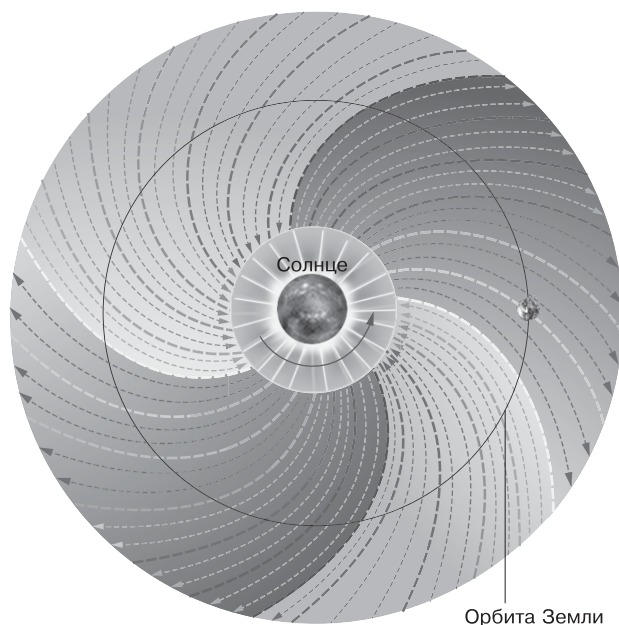
плазма (в счетчике Гейгера) или что-либо еще. Трансформация в системе-посреднике по многим причинам никогда не бывает полной, так что говорят об эффективности регистрации. Если скорость счета для исследуемого эталона изменилась, то это может быть как реальное изменение числа актов распада, так и изменение эффективности регистрации (например, из-за изменения температуры системы-посредника). Напомним, что речь идет об очень малых величинах — относительные изменения составляют порядка тысячной доли.

В наши дни те или иные космические ритмы обнаружены в нескольких независимых параметрах твердых тел: в изменениях темнового тока фотоумножителей (скорее всего, это вариации величины работы выхода электронов фотокатода), в изменениях тока р-п-перехода микросхем, в вариациях шумов полупроводниковых структур. Здесь работает совсем мало исследователей, а многие выявленные эмпирические закономерности пока не поддаются истолкованию. Недавно, например, в Крымской астрофизической обсерватории получены указания на присутствие в вариациях тока р-п-переходов микросхем каких-то осцилляций с совсем короткими периодами. Некоторые из них почему-то очень близки к периодам собственных сейсмических колебаний Земли (есть период 54 минуты — основной тон сфероидальных колебаний), другие, возможно, имеют космическое происхождение. Ставить подобные опыты весьма сложно, поскольку нужно исключить влияние на приборы всех других факторов, не связанных с изучаемыми. Например, вариаций температуры. Для проведения корректных экспериментов в обсерватории несколько лет готовили установку, внутри которой постоянно температуры и других параметров поддерживалось бы с достаточно высокой точностью.

Самый же главный вывод из подобного рода исследований состоит в том, что космическая ритмика присутствует не только в водных растворах. Накопленные данные — сильный аргумент в пользу того, что космическая погода влияет, хотя и в очень малой степени, на физико-химическую кинетику вообще, независимо от агрегатного состояния вещества и вида молекул, вовлеченных в тот или иной процесс, который протекает в среде обитания. Гипотеза об электромагнитной природе действующего агента и здесь остается в силе — но имеет совсем мало сторонников.

Тест-реакции с водными растворами

Автор, частота измерений	Процесс, процедура измерений	Система реагирует на:
Штормглас, колба Фичроя, прибор известен с XVIII века. Наблюдения ежесуточные. Изменения происходят обычно в пределах часа.	Запаянная ампула со 100 мл насыщенного раствора камфоры в спирте, хлористого аммония, азотнокислого калия, в воде; Фиксируют изменения в росте и морфологии кристаллов.	Прохождение (приближение) некоторых типов атмосферных фронтов. Возможно, на индекс A_p (размах вариаций геомагнитного поля за определенный период времени).
Г.Бортельс (H.Bortels), ежесуточно, 1949—1954 годы.	Фиксируют скорость выпадения в осадок кристаллов фосфата кальция при стандартной реакции в воде, азотнокислого кальция, хлористого калия, фосфата калия.	Определенные изменения локальной погодной ситуации. Числа Вольфа. Зафиксировано влияние электромагнитного экрана.
Г.Бортельс, ежесуточно, 1951—1952 годы.	Время сохранения в жидком состоянии очищенной воды, переохлаждаемой до -6°С.	Локальные изменения погодной ситуации. Индекс A_p .
Х.Морияма (H.Moriyama), ежесуточно, 1959 год.	Измеряют мутность белкового раствора спустя два часа после растворения.	Возможно, на числа Вольфа?
Дж.Пиккарди (G.Piccardi), трижды в сутки, 1951—1976 годы. А.М.Опалинская, Л.П. Агулова, ежесуточно, 1978—1979 годы.	Время осаждения хлопьев оксихлорида висмута после гидролиза, хлористого висмута в слабом водном растворе соляной кислоты (тесты Р, D, F).	Тесты Р и D реагируют на приближение (прохождение) атмосферных фронтов, числа Вольфа. Тест F реагирует на мощные хромосферные вспышки, границы секторов ММП, местные грозы. Зафиксировано влияние электромагнитных экранов.



4

Обычно, межпланетное магнитное поле состоит из четырех секторов, хотя бывают ситуации и с двумя, и с шестью секторами. Поле вращается вместе с Солнцем, Земля вращается вокруг Солнца. В результате получается, что границу секторов наша планета пересекает примерно каждую неделю



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

Артефакты точных измерений?

Если справедлив вывод о том, что космическая погода влияет на широкий круг физико-химических явлений, включая состояние конденсированных тел, то в экспериментальной физике должен непременно существовать особый класс явлений: когда измеряется какая-то величина, которая не может в принципе зависеть от космической погоды — но результат измерений эту зависимость обнаруживает. Такое возможно, если космический агент влияет на технологию измерений и соответственно вариации измеряемой величины оказываются артефактами. Подобные примеры отыскать в литературе совсем нетрудно. Рамки статьи заставляют ограничиться описанием двух «патологических» случаев.

Общеизвестно, что среди мировых постоянных гравитационная константа на сегодняшний день измерена наименее точно. На протяжении длительного времени предпринимались попытки ее уточнения. Если собрать данные об измерениях в разное время (но одним и тем же методом), то создается впечатление о квазипериодических вариациях постоянной с периодом около 11 лет. Ситуация прояснилась совсем недавно, после того, как был проанализирован большой массив данных, собранных на установке по измерению константы методом крутиль-

ных весов В.П.Измайлова — О.В.Карагиоза (Москва). Длительное время (18 лет!) установки работали в режиме мониторинга. Были сделаны несколько десятков тысяч измерений. Оказалось, что: 1) разброс в измерениях заметно возрастает в эпоху минимума солнечной активности; 2) сама измеренная величина константы обнаруживает космическую ритмику; представлен и период уже много раз здесь упоминающийся — 29 ± 2 суток (вариации имеют место в четвертом знаке после запятой); 3) наблюдается связь с некоторыми космическими индексами — знак ММП, магнитная активность, степень возмущенности дневной ионосферы.

В общем, влияние космической погоды на технологию измерений в данном случае выявлено вне всяких сомнений. Скорее всего, воздействие оказывается на упругие параметры скручивания нити подвеса маятника.

Другой пример касается ложных вариаций интенсивности солнечных нейтрино и выглядит более сложным. С точки зрения «стандартной солнечной модели» вариаций потока нейтрино с 11-летним циклом солнечной активности, тем более — в шкале месяцев — быть не должно. Но они могут возникнуть в самом приборе, опять-таки из-за нестабильности эффективности регистрации. Специальный анализ данных, накопленных в радиохимических экспериментах хлор (мишень) — аргон (продукт) и галлий (мишень) — германий (продукт), обнаружил явные признаки вариации в полноте извлечения изотопов — продуктов реакций с нейтрино из мишеней-жидкостей. Все обстоит так, будто находящиеся в жидкости наноструктуры-кавитанды захватывают появившийся «горячий» ион и не пропускают его в счетную систему. Как именно это получается, заинтересованный читатель может узнать из публикации («Журнал экспериментальной и теоретической физики», 2004, т.125, № 4, с.717).

Можно еще было бы рассказать о парадоксальных «вариациях» в величине космологического красного смеще-

Автор, частота измерений	Процесс, процедура измерений	Система реагирует на:
Дж.Пиккарди, ежесуточно, 1960—1975 годы.	Акрилонитриловый тест; полимеризация мономеров акрилонитрила в водном растворе.	Числа Вольфа.
С.Э.Шноль и соавторы, ежесуточно с перерывами, иногда чаще, 1957—1985 годы.	Активность ферментов, кинетика протекания химических и биохимических реакций в водных растворах (первые этапы программы «макроскопические флуктуации»).	Числа Вольфа, индексы геомагнитной активности, показатели ионосферной возмущенности, границы секторов ММП.
М.Е.Ерошев, ежечасно, ежесуточно с перерывами, 1972—1981 годы.	Выход газов при радиоллизе дистиллированной воды под действием гамма-излучения в открытой системе.	Числа Вольфа.
В.В.Соколовский, ежесуточно с перерывами, 1971—1984 годы.	Скорость окисления унитиола нитритом натрия в водном растворе.	Локальные изменения погодной ситуации. Числа Вольфа, солнечное радиоизлучение, границы секторов ММП.
В.Е.Жвирблис, с перерывами, 1970—1975 годы.	Наблюдения над скоростью циркуляции воды в «кольцаре Лазарева» — замкнутой трубке с пористой перегородкой.	Числа Вольфа, границы секторов ММП.
В.С.Цаплин, каждые несколько минут с перерывами, 1978—1979 годы.	Измерение спектров пропускания воды на автоматизированной установке.	Интенсивность неуклонной компоненты космических лучей.

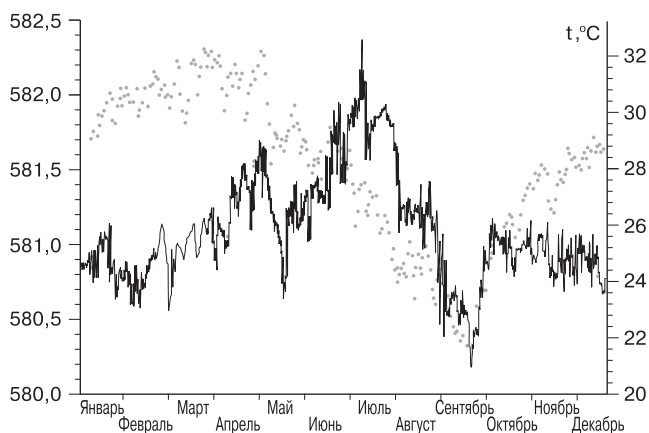


ния некоторых удаленных галактик, о ложных «срабатываниях» гравитационных антенн, о якобы всплесках интенсивности мюонов после хромосферных вспышек на Солнце («Баксанский эффект»). Самый свежий пример — сообщение группы американских и германских физиков об обнаружении якобы зависимости скорости радиоактивного распада от... расстояния Солнце—Земля (E.Fishbach et al, astro-ph, 25.08.08). На самом деле это — годовой ход эффективности регистрации в их аппаратуре, найденный давно С.Э.Шнолем с коллегами и изученный А.Г.Пархомовым (рис. 5).

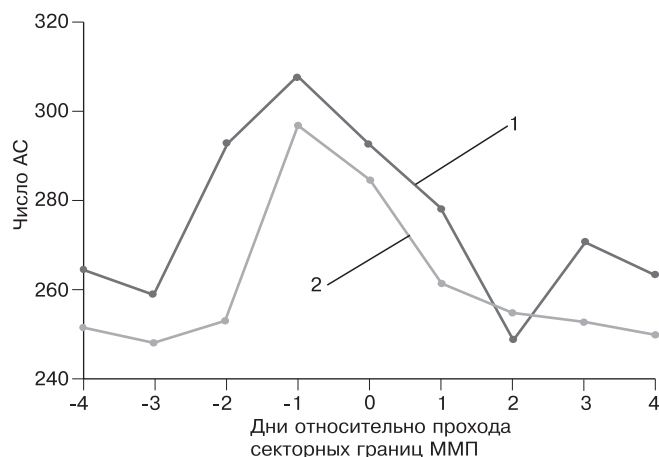
Одним словом, влияние космической погоды на измерительные системы — явление нередкое. Просто на подобные феномены до сих пор не обращали внимания, а зря: при проведении тонких экспериментов в нейтринной и ядерной физике можно получить такие артефакты, которые станут основой ложных выводов, а опровергнуть их чрезвычайно затруднительно, поскольку для этого нужно ставить длительные эксперименты.

Космическая погода и аварийность в техносфере

Коль скоро функционирование инженерно-физических систем контролируется, хотя и в очень малой степени, космической погодой (даже в стандартных элементах электроники вроде часов компьютера есть космофизические ритмы!), вполне уместен вопрос о связи вариаций космической погоды с аварийностью. Поставленный вопрос возвращает нас к традиционной гелиобиологии. Если человек-оператор контролирует работу технической системы, то связь аварийности с космической погодой возникает из-за человеческого фактора — действующий кос-



5
Так в течение года меняется скорость счета бета-радиоактивного эталона Sr^{90} (точки) и температура около установки (кривая, шкала справа). Усреднение данных 2000—2007 годов (А.Г.Пархомов, 2008)



6
Когда Земля проходит через границу секторов межпланетного магнитного поля, возрастает число авиaproисшествий, связанных как с ошибками людей (1), так и с отказами электроники (2) (Т.А.Зенченко и др., 2007)

мический агент обладает выраженными психотропными свойствами. Для автоматизированных же систем связь с космической погодой будет аналогична «закону парных случаев» земских врачей — неполадки в работе сложных компьютерных систем должны появляться «пачками». Именно такая закономерность и была найдена в частоте следования вызовов ремонтных бригад, обслуживающих крупные компьютеры. Из новейших публикаций по рассматриваемому вопросу сильное впечатление производят результаты анализа динамики авиaproисшествий. Авторы изучили ежесуточные данные аварийных ситуаций в гражданской авиации России за 1997—2005 годы, что составило свыше 10 тысяч событий. Их результат таков (рис. 6): частота следования аварийных происшествий статистически значимо (надежность $p < 0,01$) возрастает в дни смены знака ММП (то есть в дни прохождения границ секторов ММП). Эффект отдельно обнаружен для случаев ошибок пилотирования и отказов электроники. Те читатели, которые будут склонны трактовать эту работу как экзотическую сенсацию, определенно не правы. Имеются данные о вмешательстве космической погоды в работу автоматизированных систем блокировки на железнодорожном транспорте. Статистика аварийности в ракетно-космической области, понятно, секретна. Но и там, похоже, имеет место то же самое. Иначе с какой стати динамика страховых выплат по поводу всяких «неприятностей» в отрасли обнаружила бы корреляционную связь с интегральными показателями солнечной активности?

В общем, как и в гелиобиологии, космический агент (агенты?) влияет на величину риска возникновения «патологических» процессов. Все сказанное позволяет с полным основанием говорить о влиянии космической погоды на техносферу.

Окончание в следующем номере.

Из архива ИнформНауки

Активное солнце, спокойное солнце

Пики повышенной солнечной активности повторяются в среднем каждые 11 лет. Но этот промежуток может составлять и 9, и 14 лет. Чем короче цикл, тем пик активности выше и наоборот. Исследователи из Национального центра исследований атмосферы (США) Маусуми Дикпати и Паул Шербонне, похоже, раскрыли причину такой связи. На Солнце существуют потоки плазмы, текущие в меридиональном направлении. Эти потоки слабы, но они тянут за собой магнитное поле и постепенно меняют полярность солнечного динамо. Эти потоки возмущаются струями горячего вещества, идущими из недр. Сила их непостоянна, и если возмущение сильнее обычного, то пик активности будет слабее, а сам цикл дольше.

Сильных магнитных бурь не будет долго

Величину солнечной активности можно, по мнению Л.М.Козловой из ГАИША при МГУ им. М.В.Ломоносова, условно разбить на два слагаемых. Первое — случайная величина, составляющая не более 20% от всего значения. Второе слагаемое — это результат периодических процессов, протекающих на Солнце. Л.М.Козлова рассматривает это слагаемое как сумму трех повторяющихся процессов с периодами 11, 100 и 600 лет. Ее прогноз на изменения солнечной активности связан с одним любопытным наблюдением. Оказывается, колебания активности симметричны относительно максимума столетнего цикла. В текущем столетнем цикле максимум пришелся на 1965 год. Таким образом, если известна величина солнечной активности в 1920–1970 годы, то можно предсказать значение этой величины в ближайшие 50 лет (то есть на период времени 1970–2020 годы). По мнению Л.М.Козловой, в 2000–2006 годах солнечная активность должна спасть, поскольку в 1934–1940 годы она повышалась.

Интересно отметить, что именно в прошлом столетии сошлись максимумы векового и 600-летнего циклов. Так, максимум текущего векового цикла пришелся на 1965 год, а 600-летнего — примерно на 2000 год. Отсюда можно сделать два вывода. Во-первых, в 1960–1980 годы прошлого века наблюдался абсолютный

максимум солнечной активности за последние 400–500 лет. И во-вторых, через 100–150 лет нас ожидает абсолютный минимум солнечной активности.

Магнитные бури еще и трясут

Специалисты Объединенного института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН во главе с Г.А.Соболевым предположили, что магнитные бури также обладают достаточной силой, чтобы встряхнуть земную кору. Чтобы проверить гипотезу, они сопоставили более 14 000 колебаний земной коры ощутимой силы, которые были зарегистрированы с 1975 года в Казахстане и Киргизии, и примерно 350 внезапных магнитных бурь, отмеченных за тот же срок мировой сетью геомагнитных наблюдений.

Расчеты показали, что больше всего землетрясений в Казахстане и Киргизии происходило спустя несколько суток после начала магнитной бури. Как правило, число землетрясений после магнитных бурь заметно возрастало. Но были и районы, где наблюдалась противоположная закономерность.

Ученые также попытались оценить, достаточно ли энергии магнитной бури для того, чтобы вызвать землетрясение. В принципе при сейсмической активности высвобождается количество энергии, близкое к тому, которое несет в себе магнитная буря. Но следует учесть, что в подземный толчок выливается лишь сотая часть упругой энергии, которая приводит в движение процесс. К тому же электромагнитная энергия бури передается в механическую через сложные эффекты в горных породах, например пьезоэлектрический. КПД этой передачи исчисляется в лучшем случае в сотых долях процента. Поэтому возникло мнение, что магнитная буря выполняет для землетрясения роль спускового крючка. В будущих полевых и лабораторных работах геофизики надеются прояснить физическую природу этого эффекта.

Непростая связь спутников с Солнцем

Казалось бы, чем выше солнечная активность, тем чаще должны быть поломки космических аппаратов: во время мощных взрывов на поверхности светила от него летят потоки заряженных частиц, которые и выводят из строя тон-

кую электронику. Ан нет. Ученые из Объединенного института физики Земли РАН им. О.Ю.Шмидта и Института космических исследований РАН сравнили информацию о параметрах солнечной активности и частоты поломок спутников за период 1989–1994 годы, то есть на пике и во время спада двадцать второго цикла активности Солнца, и выяснили, что картина куда сложнее.

Прежде всего, оказалось, что нужно разделить три поражающих фактора. Первый из них — солнечные протоны. Именно они возникают во время вспышек, и поэтому чем ближе к пику активности, тем чаще спутники оказываются под их действием. Эти протоны, в свою очередь, следует разделить на две группы: с энергией от 1 до 10 МэВ и с энергией больше 60 МэВ. Первые протоны разрушают солнечные батареи, а вторые способны пробить корпус и нанести вред микросхемам спутника. Однако делают они это, судя по всему, с большим трудом: коэффициент корреляции между сбоями и протонными вспышками уменьшается по мере роста энергии протонов. А вот когда от Солнца в период пика активности летит мощный поток протонов с относительно небольшими энергиями, именно в этот день чаще всего и случаются сбои на спутниках. Но в целом корреляция между протонными событиями на Солнце и сбоями на спутниках не слишком сильна. Кроме того, в период спада активности никакой связи между протонными вспышками и сбоями не наблюдается.

А теперь посмотрим на релятивистские, то есть летящие со скоростью, близкой к скорости света, электроны. Так получилось, что быстрые потоки солнечного ветра чаще всего возникают на спаде цикла солнечной активности. И, оказывается, сбои в работе спутников чаще всего случаются именно в период такой бури. Соответственно коэффициент корреляции между датой сбоя и возникновением потока быстрых электронов в период спада солнечной активности оказывается довольно значительным: 0,57.

«Из наших результатов следует, что на спаде солнечной активности большая часть сбоев в работе спутников на высоких, геостационарных орбитах вызвана потоками электронов, — говорит В.А.Пилипенко, который одновременно работает в обоих упомянутых институтах. — Что за фактор действует во время максимума активности, нам установить не удалось. А ведь в этот период число сбоев в полтора раз больше, чем в период спада активности. Порой сбои возникают один за другим, хотя нет ни протонных, ни электронных событий, как, например, в 1990 году. Видимо, дело в мелкомасштабных изменениях потоков частиц. Чтобы проследить за ними, нужно проанализировать, как распределены эти потоки по всей поверхности сферы геостационарных орбит».