

ГОРИЗОНТЫ ПРЕДСКАЗУЕМОСТИ. Очевидное - Невероятное

В. И. Козлов



*Валерий Игнатьевич Козлов,
доктор физико-математических
наук, главный научный сотрудник
лаборатории теории
космической плазмы Института
космофизических исследований и
аэронавтики им. Ю. Г. Шафера
СО РАН*

*Вселенная, словно Афродита,
Рожденная из пены «алтарюв» волн.
Мгновение и ... снова Мир хаоса полон!
На гребне обессилевшей волны
Исчез последний вихрь пены ...
То будем Мы, или не Мы?
Не то - Герои, не то - Зрители
Немой Вселенской Сцены ...*

В. И. Козлов

События на Солнце в октябре - ноябре 2003 г.

*«Невиданная, уникальная,
историческая... вспышка на Солнце!»* Такими эпитетами сопровождалось действительно из ряда вон выходящее событие в солнечно-земной физике в конце октября - начале ноября 2003 г. В это время были зарегистрированы мощнейшие вспышки на Солнце (рис. 1), сопровождавшиеся гигантскими выбросами солнечного вещества, потоками частиц космических лучей, необычайно мощными магнитными бурями, отказами в работе систем телеметрии космических аппаратов, длительными и глубокими нарушениями радиосвязи и ... редкими по красоте полярными сияниями (рис. 2).

От невероятного - к очевидному

В последнее время в прессе неоднократно сообщалось, что прогнозировать подобные явления

невозможно, по крайней мере, более чем за сутки. Это - из «невероятного». Вопреки этим утверждениям, недавние результаты, полученные в Якутском Центре Космической Погоды, вселяют надежду на то, что и невероятное может стать очевидным. В отличие от наших московских коллег из Института земного магнетизма и распространения радиоволн (ИЗМИРАН), прогнозы космической погоды которых можно иногда встретить в средствах массовой информации, мы задались целью **перевести прогноз из сферы искусства и интуиции исследователя в точный расчет, то есть в сферу науки**. Это возможно, если очень повезет с выявлением предвестника события или явления. В этом смысле можно сказать, что нам действительно крупно повезло. Способ прогноза, точнее - **ранней диагностики** события, основан на эффекте, обнаруженном в 1972 г. автором статьи. Замечу, что ни о каком прогнозе, по крайней мере до 1975 г., тогда и не помышлялось. Суть выявленного

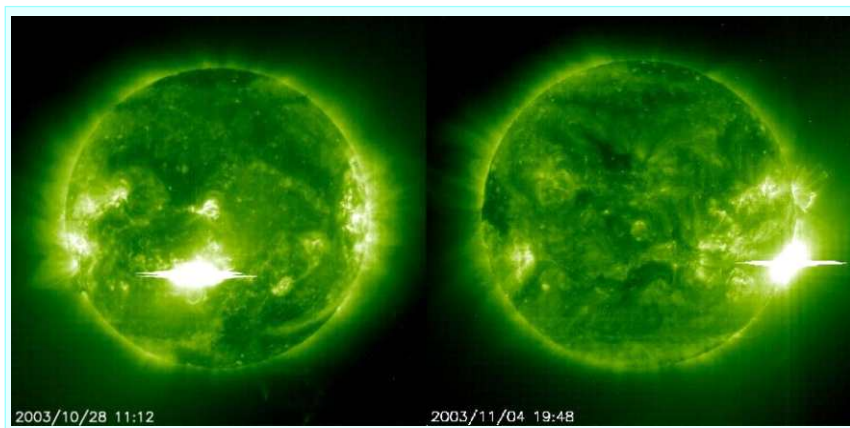


Рис. 1. Вспышки на Солнце 28 октября и 4 ноября 2003 г.



Рис. 2. Полярные сияния в октябре 2003 г.

эффекта заключается в том, что еще до регистрации на Земле крупномасштабного межпланетного возмущения, являющегося причиной магнитной бури, высокоширотные нейтронные мониторы регистрируют мерцания небесной сферы в космических лучах - эффект «гало» или свечение источника возмущения в «свете» космических лучей.

Невероятным, с точки зрения существующих в научном сообществе в настоящее время представлений, является вывод о возможности **долгосрочного** прогноза с заблаговременностью $\Delta T=3\pm 1$ оборота Солнца вокруг своей оси (один оборот длится 27 дней). Тем не менее, еще в **августе - сентябре** текущего года (обороты № 2321-2322) нами был зарегистрирован (и выставлен в Интернет - <http://ikfia.ysn.ru/fluctuations/>) предвестник с долгосрочным прогнозом на **октябрь - ноябрь** 2003 г. (обороты № 2323-2324).



Рис. 3. Регистрация предвестника геоэффективного периода солнечной активности с августа на сентябрь 2003 г. (солнечные обороты № 2321-2322) с долгосрочным прогнозом на октябрь - ноябрь 2003 г. (№ 2323-2324). СА - солнечная активность; ГКЛ - галактические космические лучи.

Открывающимся возможностям долгосрочного прогноза космических событий были посвящены наши доклады на международной конференции 2003 г. в Словакии и Иркутске [1, 2]. Суть изложенного в докладах - обнаружение регулярного процесса на Солнце - «**волны переполюсовки**» на стадии смены знака солнечного магнитного поля, которая происходит один раз в 11 лет.

Использование альтернативного метода анализа сигналов и процессов (вейвлет-анализа) только подтверждает существование выявленного эффекта (рис. 4). Действительно, как следует из вейвлет-анализа, в 2000-2001 гг. доминировала волна переполюсовки с *полугодовым* периодом - максимум периодограммы (красный цвет) приходится на вариацию с периодом 7 оборотов Солнца. В этой связи, приведем высказывание известного гелиофизика, профессора МГУ И. С. Веселовского: «... возможность выделения целого ряда **регулярных процессов** на этом (хаотическом) фоне существует даже при самой высокой (солнечной) активности и всегда представляет интерес с точки зрения определения горизонтов прогнозирования, которые в настоящее время неопределенны и требуют тщательного анализа» [3, стр. 52].

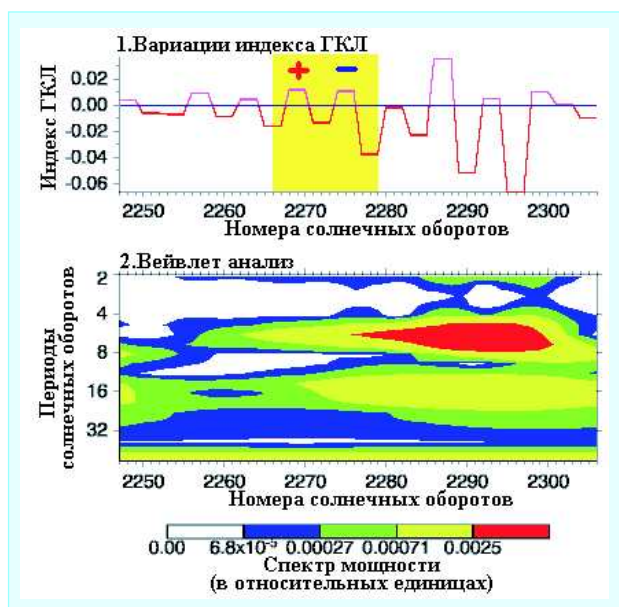


Рис. 4. Волна переполюсовки в среднеоборотных значениях индекса мерцаний космических лучей в 2000-2001 гг.

Иллюзии глобальной предсказуемости

Мысль о принципиальной ограниченности нашей способности предсказывать, о существовании *горизонта прогноза* или *предела предсказуемости* была высказана Нобелевским лауреатом по физике Ричардом Фейнманом, связавшим чувствительность к начальным условиям с хаосом (а, следовательно, с непредсказуемостью). Эту связь понял и американский метеоролог Эдвард Лоренц. Он предложил простейшую, но достаточно универсальную математическую модель - систему Лоренца, имеющую конечный горизонт прогноза. Скорость расходимости двух траекторий (в фазовом про-

странстве) определяется так называемым показателем Ляпунова. От его величины и зависит интервал времени, на который может быть дан прогноз.

Развитие науки показывает, что каждая фундаментальная теория не только предоставляла нам новые возможности познания, но и лишала нас иллюзий: классическая механика - что можно построить вечный двигатель первого рода, термодинамика - второго, квантовая механика - что мы можем сколь угодно точно измерить координату микрочастицы и ее импульс одновременно, теория относительности - что удастся передать информацию в вакууме со сверхсветовой скоростью. **Сегодня нелинейная динамика лишила нас иллюзии глобальной предсказуемости!** [4].

Установлено, что каждая из крупнейших катастроф XX века связана с «неблагоприятным стечением многих маловероятных случайных обстоятельств». При анализе причин бедствий не оставляет чувство, что нам просто не везет.

Что же является математическим образом этого «невезения»? Все инженеры знают правило трех сигм, которое говорит о том, что вероятность отклонения случайной (распределенной по Гауссу) величины от среднего значения более чем на три сигмы, составляет менее 0,001.

Сказочный мир «степенных катастроф»

Но есть и другой класс законов, которые называют **степенными**, потому что «хвост» такой функции распределения убывает гораздо медленнее - это законы *распределений с «тяжелыми хвостами»*. В этих случаях большими отклонениями пренебрегать уже нельзя! Если бы по такому закону был распределен, рост людей (известно, что он распределен по Гауссу), то это был бы уже мир восточных сказок с тридцатиметровыми джинами, ифритами, дэвами и т. д., которые вполне могли бы встретиться в жизни простых смертных. Именно в мире восточных сказок, точнее - *в мире степенных законов*, мы обычно и оказываемся, сталкиваясь с оценкой бедствий, катастроф и аварий. Подобным законам подчиняется статистика землетрясений, наводнений, ураганов, инцидентов с хранением ядерного оружия, биржевых крахов, ущерба от утечки конфиденциальной информации, аварий на атомных электростанциях и многих других невзгод [4].

Формула красоты!

Степенные законы, во множестве проявляющиеся в природе, являются *самоподобными (фрактальными)*, или *масштабно-инвариантными*: при изменении масштаба явления воспроизводят сами себя. Такая инвариантность может пролить свет на некоторые темные уголки физики, биологии экономики и других наук и даже объяснить особенности нашего восприятия, например, музыки. Оказывается, *произведение искусства приятно и интересно лишь при условии, что оно не слишком предсказуемо и в то же время не таит в себе слишком много сюрпризов!*

На языке математики эта изящная идея американского математика Дэвида Биркгофа звучит так: спектр мощности «эстетической» функции не должен вести себя ни как утомительно однообразный «коричневый» шум-аналог броуновского движения с показателем

$\alpha = -2$, ни как совершенно непредсказуемый «белый» шум с показателем $\alpha = 0$, а должен находиться между этими значениями $-2 < \alpha < 0$. Установлено, что показатели зависимости спектра мощности от частоты ($1/f$), встречающиеся в большинстве музыкальных произведений, находятся как раз посередине этого интервала: $\alpha = -1$. Это так называемый «розовый», или фликкер-шум. Как однажды образно сказал Бальтазар ван дер Поль* о музыке Баха: «Это великая музыка, потому что она неотвратима (подразумевая < 0) и вместе с тем - неожиданна ($\alpha > -2$)» [5]. Чем не формула красоты?!

Новые иллюзии?

«Черные» же шумы с показателями $\alpha < -2$ описывают естественные и противоестественные (техногенные) катастрофы. В ряде случаев для степенных катастроф удалось обнаружить предвестники, например, для «жесткой турбулентности» в физике плазмы.

Предположим, что предвестники обнаружены и нам по-настоящему «везет с прогнозами». Это значит, что поведение системы с устраивающей нас точностью определяется лишь несколькими переменными или компактной областью фазового пространства. Подобные области в фазовом пространстве были названы «руслами». Вероятно, способность эффективно выделять русла (то есть учиться не только методом проб и ошибок), совершенствуя свою предсказывающую систему и здравый смысл, и дала виду *homo sapiens* решающее преимущество в ходе эволюции животного мира на нашей планете! [4].

* Голландский физик

Литература

1. Kozlov V. I., Kozlov V. V., Markov V. V. Effect of Polarity Reversal of Solar Magnetic Field in Cosmic Ray Fluctuations // Proceeding on ISCS-2003 Symposium «Solar Variability as an Input to the Earth's Environment». Tatranska Lomnica. Slovakia. 23-28 June 2003. - P. 117-120.
2. Марков В. В., Козлов В. И. Волна переполнюсовки магнитного поля Солнца во флуктуациях космических лучей // «Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике». VI Сессия молодых ученых «Волновые процессы в проблеме космической погоды», 15-20 сентября 2003. Иркутск, Институт солнечно-земной физики СО РАН. - (В печати).
3. Веселовский И. С. Гелиосфера и солнечный ветер в максимуме 23-го цикла // «Солнечно-земная физика». ИСЗФ. - Иркутск, 2002. - Вып. 2. - С. 50-53.
4. Малинецкий Г. Г. Курдюмов С. П. Синергетика и прогноз. Настоящее и будущее // Новое в синергетике. Взгляд в третье тысячелетие. РАН. - М.: Наука, 2002. - С. 33.
5. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая / Пер. с англ. Ю. А. Данилова. - Москва-Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 528 с.

НОВЫЕ КНИГИ



Кычкин И. С. Курс общей физики. Механика: Учебное пособие для вузов. - Якутск: Издательство Якутского государственного университета, 2003. - 357 с.

В книге изложены основы механики с современной точки зрения. Структура книги и методы изложения таковы, что читатель может начать изучение любого раздела общей физики и теоретической механики, как базового раздела теоретической физики. Во всех разделах приводятся примеры, необходимые для более глубокого понимания материала.

Книга предназначена для студентов физических, физико-технических и инженерно-физических специальностей высших учебных заведений. Она может быть использована и студентами технических вузов, и учителями общеобразовательных школ.



Балобаев В. Т., Гаврилова М. К., Скачков Ю. Б. и др. Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии: Препринт. - Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. - 64 с.

Авторы разделов: член-корр. РАН В. Т. Балобаев "Изменения климата Земли в прошлом и настоящем"; д. г. н., академик АН РС(Я) М. К. Гаврилова "Изменения современного климата области "вечной мерзлоты" в Азии"; к. г. н., Ю. Б. Скачков "Мониторинг температуры верхних горизонтов многолетнемерзлых пород Центральной Якутии"; д. г. н. П. П. Гаврильев "Оценка реакции геосистем ледового комплекса Севера при глобальном потеплении климата и антропогенном воздействии"; к. б. н. Р. В. Десяткин "Водный режим почвы и динамика водности аласов"; к. б. н. Т. Х. Максимов и д. с-х. н. Б. И. Иванов "О развитии международных исследований регионального и глобального цикла углерода в мерзлотных экосистемах Якутии"; член-корр. РАН, академик АН РС(Я) Н. Г. Соломонов "Биоэкологические последствия потепления климата в мерзлотных регионах".