

УДК 523.165+523.74

О ВЕРОЯТНОЙ СМЕНЕ СТАТУСА ТЕКУЩЕГО НЕОРДИНАРНОГО СБОЯ 11-ЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТИ СОЛНЦА С ЛОКАЛЬНОГО НА ГЛОБАЛЬНЫЙ

© 2021 г. В. И. Козлов*

Институт космических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия

**valera.kozlov.42@inbox.ru*

Поступила в редакцию 12.03.2020 г.

После доработки 24.04.2020 г.

Принята к публикации 29.05.2020 г.

Обнаруженное по галактическим космическим лучам (ГКЛ) аномальное увеличение площади солнечного цикла 23 явилось предвестником сбоя 11-летней цикличности: в соответствии с гипотезой автора об инварианте 22-летнего цикла, вслед за увеличением площади 23 цикла последовало уменьшение площади (энергоемкости) следующего 24 цикла. Уменьшение энергоемкости сопровождается уменьшением (относительной вариации) светимости Солнца, которая в 24-цикле уменьшилась до уровня среднего значения трех предыдущих циклов, т.е. практически вдвое. При сохранении инварианта 22-летнего цикла следует ожидать восстановления 11-летней цикличности в 25-м цикле. При нарушении инварианта 22-летнего цикла, уровень радиационного фона ГКЛ в максимуме предстоящего 25 цикла (с 2024 на 2025 гг.) должен быть не ниже уровня фонового излучения в максимуме 24 цикла (2014 г.). В этом случае, состояние неординарного сбоя 23-24-25 циклов изменится с локального на глобальный.

DOI: 10.31857/S0023420621020059

ВВЕДЕНИЕ

Время от времени в литературе интенсивно обсуждается проблема: описывается ли поведение солнечной активности конечным и низко-размерным аттрактором, что указывало бы на регулярность процесса? В работе [1] утвердительного ответа на этот вопрос получено не было. Возможно, это связано с низкой информативностью чисел Вольфа. Так, в [2] было отмечено, что числа Вольфа (из-за специфического правила их подсчета) вряд ли могут быть гладкой функцией истинной динамической переменной. Правдоподобная оценка корреляционной (фрактальной) размерности, т.е. выход монотонной зависимости $d(n) \sim n$ на плато при значении размерности $d \approx 2.5-3$ в окрестности максимума и в начале ветви спада 11-летнего цикла, была получена нами [3, 4] по индексу мерцаний интенсивности галактических космических (ГКЛ). Ни по числам Вольфа, ни просто по интенсивности ГКЛ корректную оценку корреляционной размерности получить не удалось.

Фаза смены знака общего магнитного поля Солнца (в окрестности максимума и в начале ветви спада 11-летнего цикла), как наиболее геоэффективная, представляет наибольший интерес в плане прогноза экстремальных проявлений Кос-

мической погоды. Геоэффективность фазы переплюсовки обусловлена тем, что в окрестности максимума и в начале ветви спада 11-летнего цикла регистрируется наибольшая спорадическая активность, сопровождаемая серией СМЕ и ударных волн. Повышение эффективности прогноза активной фазы 11-летнего солнечного цикла по космическим лучам является одной из целей данной работы. Выявление конечного и низко-размерного, т.е. частично-детерминированного процесса в вариациях индекса мерцаний ГКЛ является, очевидно, указанием на принципиальную возможность прогноза максимальной спорадической активности Солнца. Вывод о принципиальной возможности прогноза активной фазы солнечного цикла, сделанный нами исходя из полученной выше конечной и низкой величины корреляционной размерности, был достаточно подробно прокомментирован в соответствующем разделе монографии [5], посвященном теме фракталов в Космосе.

Ранее в [6], по космическим лучам был дан долгосрочный прогноз сбоя 11-летней цикличности Солнца, который в дальнейшем подтвердился: в настоящее время имеет место неординарный сбой 11-летней цикличности Солнца. При этом, важно определиться с характером текущего сбоя. В случае, если сбой окажется локальным как, на-

Таблица 1. Матрица корреляционных связей параметра флуктуаций ГКЛ с интенсивностью космических лучей, параметрами солнечного ветра и индексами солнечной активности: с интенсивностью ГКЛ $R = 0.80$; с числами Вольфа $R = -0.74$; с индексом “электрического поля солнечного ветра” $R = -0.76$. Наибольшее значение имеет антикорреляция параметра флуктуаций ГКЛ с Dst -вариацией $R = -0.85$

	Параметр ГКЛ	Интенс. ГКЛ	Число больших магнитных бурь	Числа Вольфа (число пятен)	Индекс Мультиг. солн. магн. поля	Число больших событий электр. поля
Параметр ГКЛ	1	0.80	-0.85	-0.74	-0.77	-0.76
Интенс. ГКЛ	0.80	1	-0.89	-0.87	-0.68	-0.67
Число больших маг- нитных бурь	-0.85	-0.89	1	0.86	0.74	0.83
Числа Вольфа (число пятен)	-0.74	-0.87	0.86	1	0.83	0.59
Индекс Мультиг. солн. магн. поля	-0.77	-0.68	0.74	0.83	1	0.61
Число больших собы- тий электр. поля	-0.76	-0.67	0.83	0.59	0.61	1

пример, это имело место (по нашим представлениям) в 19–20 циклах, то следует ожидать восстановления 11-летней цикличности в предстоящем 25 цикле. Это следует из гипотезы об инвариантности 22-летнего цикла [7]. Наиболее интересным, является вариант глобального сбоя 11-летней цикличности, т.е. случай нарушения инварианта 22-летнего цикла. Эта возможность и изучается в данной работе по результатам анализа динамики флуктуаций интенсивности ГКЛ за четыре последних цикла 21–24.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА К АКТИВНОЙ ФАЗЕ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

Выбор методологии изучения переходного режима к активной фазе солнечного цикла, когда велика вероятность серийных событий, определился нижеследующими результатами. По часовым значениям интенсивности ГКЛ ст. Оулу (Финляндия) за 45 лет с 1968–2012 гг. определялось число событий (понижений интенсивности ГКЛ) фиксированной амплитуды. Так был выявлен степенной характер распределения числа событий в зависимости от их амплитуды [8]. Это согласуется с результатом, полученным ранее в [9], что подтверждается близостью степенных показателей τ : “-1.60” для рентгеновских вспышек и “-1.56” в космических лучах. Данный результат находится в согласии с конечным и низким ($d = 2.5-3$) значением корреляционной (фрактальной) размерности процесса на активной фазе солнечного цикла [4]. Действительно, правдоподобность полученной оценки степенного показателя τ с очевидностью следует из аналитического выражения его связи с фрактальной размерностью: $d = \tau + 1$.

Сам факт существования обратной степенной зависимости с показателем степени $\tau < 2$ указывает на то, что динамическая система находится в нетривиальном состоянии “самоорганизованной критичности”, когда весьма нерегулярно, т.е. катастрофически (что существенно осложняет прогноз) “сравливается” избыток запасенной в системе энергии. В результате, и математическое ожидание и дисперсия быстро и неограниченно увеличиваются по мере роста объема выборки, что дает характерный пример анти-интуитивного поведения масштабно-инвариантных (фрактальных) систем [10–12]. Это указывает на то, что характер процесса явно не гауссов, допускающий корреляции на сколь угодно больших пространственно-временных масштабах. Как отмечается в [13], “Дальнейшие корреляционные эффекты проявляются в “странном” (негауссовом) поведении кинетических процессов ...” и, далее: “Можно сказать, что странность и фрактальность являются взаимно согласованными характеристиками одного и того же явления – самоорганизации системы к неравновесному турбулентному состоянию, динамика которого целиком подчиняется многомасштабным корреляционным взаимодействиям”. Следовательно, анализ “хвостов”, т.е. высших моментов функции распределения может оказаться достаточно информативным в задаче обнаружения переходного режима к условной “катастрофе”, в нашем случае, переходного режима к активной фазе солнечного цикла.

С другой стороны, из вероятностной теории разрушения сплошных сред и теории надежности известно, что обобщенная (3-х параметрическая, в общем случае) функция распределения Вейбулла–Гнеденко описывает выход системы на предельный критический режим перед кризисом или

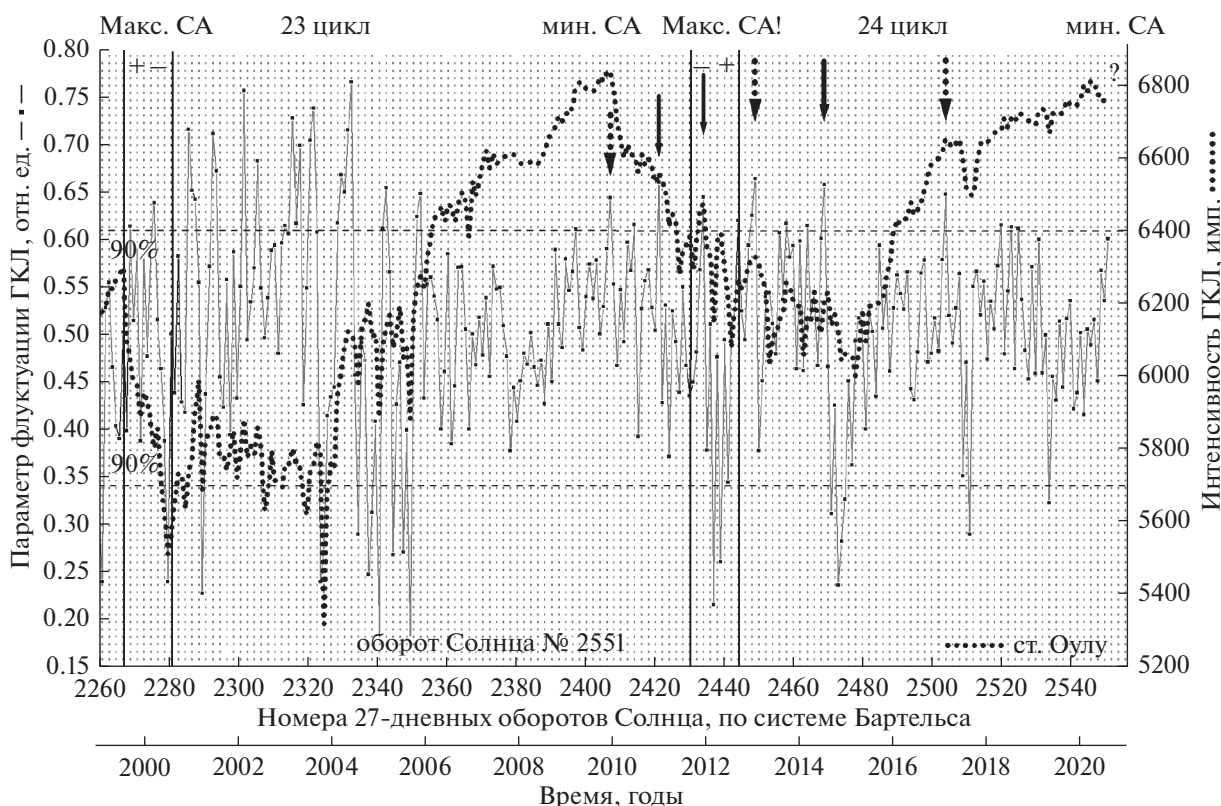


Рис. 1. Результаты мониторинга космических лучей с 1999–2020 гг. Сплошная кривая – 27-дневные значения параметра флуктуаций ГКЛ в относительных единицах, шкала слева. Показан 90% уровень значимости. Пунктирная кривая – скорость счета космических лучей ст. Оулу (Финляндия) в импульсах за 5 мин, усредненная по 7776 точкам пятиминутных значений в течение каждого оборота Солнца. Предвестники: начало 24 цикла показано точечной стрелкой, фаза роста – сплошная стрелка, фаза максимума 24 цикла – сплошная стрелка, завершение фазы инверсии поля – пунктирная стрелка, геоэффективная фаза начала ветви спада – сплошная стрелка. Низкие значения параметра флуктуаций в 2011–2012, в 2014–2015 и в 2017 гг. (заключены в овал) – означают диагностику активных фаз солнечного цикла.

условной “катастрофой” [14]. На языке этой вероятностной теории задача определения переходного режима сводится к задаче определения функции интенсивности отказов системы, выработавшей свои ресурсы. Максимум функции интенсивности отказов, или максимум функции Риска, есть, по сути – вероятность достижения критического значения анализируемой переменной, в данном случае, интенсивности космических лучей. Отношение плотности функции распределения Вейбулла–Гнеденко к “функции надежности” и есть искомая вероятность (функция Риска) или параметр флуктуаций космических лучей.

ПРОГНОЗ АКТИВНОЙ ФАЗЫ СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА ПО КОСМИЧЕСКИМ ЛУЧАМ

Выше, на рис. 1 приведены результаты расчета параметра флуктуаций ГКЛ за период с 1999–2020 гг. (конечная, текущая дата: 6.IX.2020, оборот № 2551 по системе Бартельса). Для анализа вариаций параметра с периодами от одного года и менее, был исключен низкочастотный тренд, кото-

рый представляет собой, фактически, 11-летнюю вариацию. Предвестники активных фаз 24 цикла были зарегистрированы в нижеследующие моменты времени. Предвестник начала 24 цикла – на обороте 2407, первая точечная стрелка слева. Предвестник фазы роста – на обороте 2421, сплошная стрелка. Предвестник фазы максимума 24 цикла был зарегистрирован на обороте 2434, в январе 2012 (информация о прогнозе максимума 24 цикла была доложена на конференции ИКИ РАН, в феврале 2012 г.). Предвестник фазы инверсии магнитного поля зарегистрирован на обороте 2449 (точечная стрелка, рис. 1). Предвестник геоэффективной фазы начала ветви спада 11-летнего цикла (после завершения фазы реперолюсовки в конце 2013 г.) был зарегистрирован на обороте 2469, в июле 2014 – сплошная стрелка на том же рисунке.

Пунктирной стрелкой на рис. 1 представлен предвестник достаточно неожиданной активизации солнечной активности в окрестности фазы минимума текущего солнечного цикла 24 в июле–сентябре 2017 г. (обороты 2509–2511). Оче-

видно, что интервал времени, приходящийся в основном на обороты 2506–2508 (апрель–июнь 2017 г.) и представляет собой переходный режим к необычно активной фазе в окрестности минимума завершающегося 24 цикла. Действительно, в июле и сентябре 2017 г. были зарегистрированы большие (~7%) эффекты Форбуша и геомагнитные бури, которые и обусловили резкое и глубокое понижение в 27-дневных значениях интенсивности ГКЛ на оборотах 2509–2511 (рис. 1). Относительно небольшие вариации интенсивности ГКЛ в середине 2019 г. обусловлены прохождением орбиты Земли рекуррентных высокоскоростных потоков солнечного ветра из корональных дыр, что является обычным явлением для фазы минимума 11-летнего цикла.

Низкие значения параметра флуктуаций ГКЛ (заключенные в овал на рис. 1), регистрируемые после предвестников на фоне низких значений интенсивности космических лучей, означают диагностику прогнозируемых фаз солнечного цикла. В частности: фаза максимума спорадической активности (2011–2012 гг.), геоэффективная фаза начала ветви спада текущего цикла (с 2014 на 2015 гг.) и фаза весьма неожиданной активизации в окрестности минимума текущего 24 цикла (в июле–сентябре 2017 г.). Таким образом, введенный параметр флуктуаций космических лучей позволяет, в среднем, с заблаговременностью порядка ~1 оборота Солнца, дать среднесрочный прогноз активных фаз 11-летнего солнечного цикла (<http://www.forshock.ru/pred-long.html>).

Это подтверждается оценкой взаимной корреляционной функции (ВКФ) 27-дневных значений введенного параметра флуктуаций и соответствующих значений интенсивности космических лучей (рис. 2): величина их взаимной корреляции $R(\tau) \approx 0.7$. При этом сдвиг максимума ВКФ, в среднем, на величину $\tau \approx 1$ оборот Солнца указывает на систематическое опережение параметра флуктуаций соответствующих значений интенсивности ГКЛ. Это согласуется с нашим выводом о прогностических (и диагностических, тоже) возможностях введенного параметра флуктуаций ГКЛ.

Следует отметить, что моменты регистрации предвестников в космических лучах совпадают с началом перестроек магнитного поля в комплексах активности на Солнце. Это следовало из результатов сопоставления моментов регистрации предвестников (рис. 1) в космических лучах, с результатами наблюдений магнитного поля Солнца, представленных в работе [15]. Перестройки магнитного поля наблюдались на фазах роста и спада обоих максимумов (зарегистрированных в среднегодовых значениях чисел Вольфа в 2012 и 2014 гг.), т.е. на фазах их максимальной изменчивости.

Чтобы убедиться в том, что местоположение предвестников в космических лучах отражает реальную ситуацию в межпланетной среде, был проведен совместный анализ интенсивности космических лучей и параметров солнечного ветра: изменчивости или дисперсии межпланетного магнитного поля (ММП) и скорости солнечного ветра. Для анализа использовались результаты прямых измерений на американском космическом аппарате *ACE* (<http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/>). Действительно, на фазе роста и в окрестности максимума нового 24 цикла была выявлена годовая вариация скорости плазмы солнечного ветра и дисперсии ММП [7]. Это совпадает с годовой, в среднем, периодичностью регистрации предвестников, зарегистрированных нами в анализируемый период (рис. 1). Следовательно, можно сделать вывод, что предвестник в космических лучах является индикатором перестройки магнитного поля Солнца на переходном режиме к активной фазе солнечного цикла. Это согласуется с современными данными и солнечных наблюдений: в работах [16, 17], отмечается квазипериодическая или “импульсная” структура фазы роста нового 24 цикла с тем же периодом ~1 год.

ИНВАРИАНТ “АМПЛИТУДА-ДЛИТЕЛЬНОСТЬ” 11-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА

Наибольшего размаха вариации среднеоборотных значений параметра флуктуаций ГКЛ достигают в окрестности максимума: на фазе переполусовки общего магнитного поля Солнца и на геоэффективной фазе начала ветви спада 11-летнего цикла (рис. 1). Ранее в [6], было установлено, что чем выше амплитуда цикла в максимуме, тем короче длительность процесса переполусовки (после завершения которой, начинается восстановление интенсивности ГКЛ). И, наоборот, чем ниже амплитуда цикла, тем продолжительнее фаза переполусовки. Действительно, длительность процесса инверсии поля для “низких” циклов (20 и 23), фактически, вдвое превышает таковую для более “высоких” циклов 21 и 22. Вывод об увеличении длительности солнечного цикла № 23, т.е. вывод о возможно предстоящем сбое 11-летней цикличности, был сделан в 2006 г. [6] по индексу мерцаний ГКЛ. Сейчас этот вывод подтвердился на новой базе, с использованием введенного параметра флуктуаций ГКЛ. Существенно, что сам факт увеличения длительности “низкого” по амплитуде 23 цикла является независимым экспериментальным свидетельством в пользу реальности инварианта 11-летнего цикла, его ожидаемого следствием. Полученные нами результаты согласуются с результатами работы [18], где также была установлена обратная зависимость между “временем между переполусовками и амплитудой цикла”. Указания на то, что “длина цикла, в свою

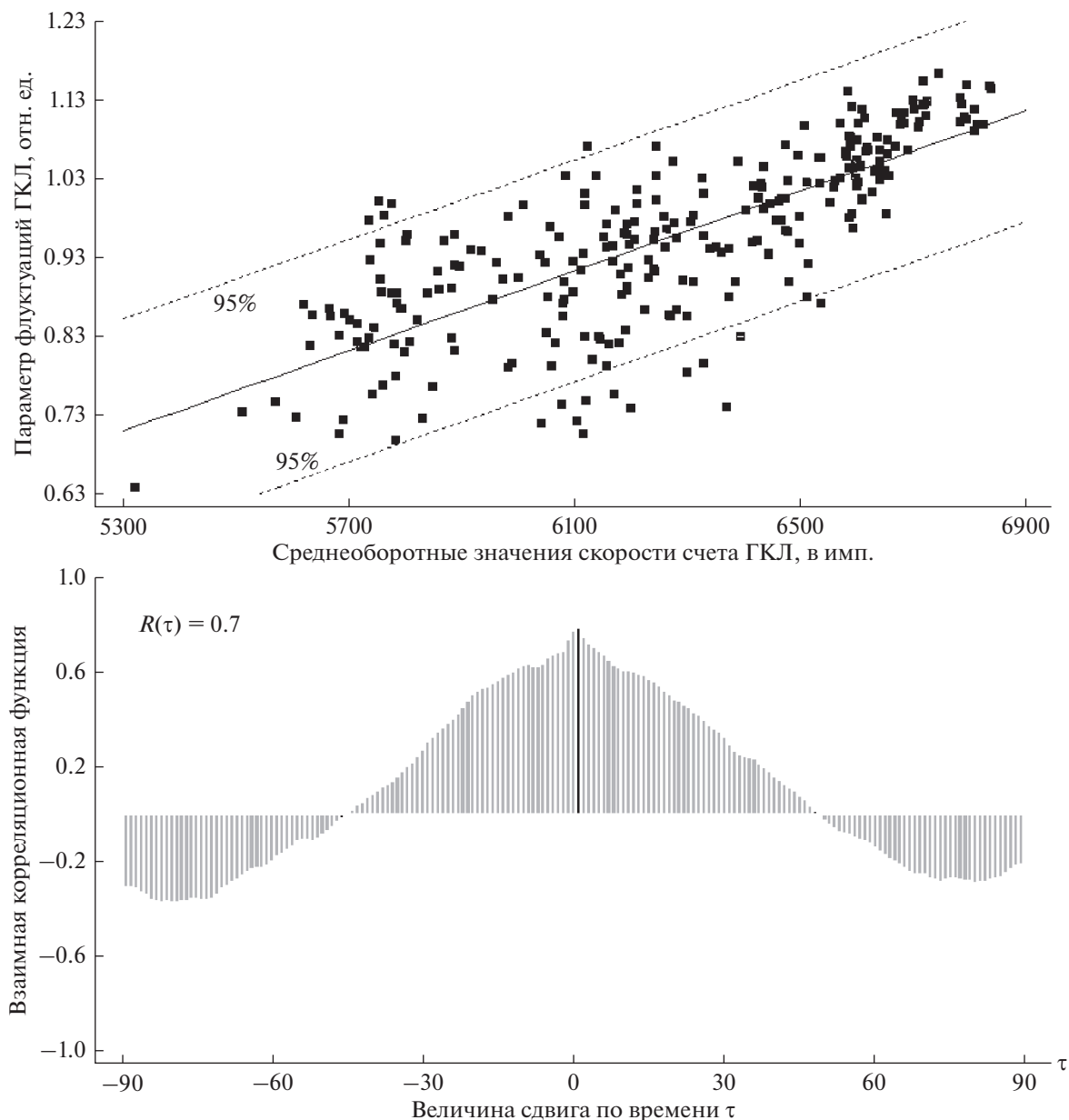


Рис. 2. Оценка связи 27-дневных значений параметра флуктуаций космических лучей и скорости счета космических лучей ст. Оулу в импульсах за 5 мин, усредненная по 7776 точкам пятиминутных значений в течение каждого оборота Солнца: регрессионная статистическая связь установлена на уровне 95%, величина коэффициента их взаимной корреляции составляет величину $R(\tau) \approx 0.7$. Средняя величина заблаговременности предвестника в параметре флуктуаций ГКЛ относительно интенсивности космических лучей определяется величиной систематического сдвига по оси времени: $\tau \approx 1$ оборот Солнца.

очередь, отрицательно коррелирует с высотой цикла” приведены и в недавней работе [19].

ПРОГНОЗ АНОМАЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Важно заметить, что гипотеза о наличии инварианта 11-летнего цикла “амплитуда-длительность” явилась логическим следствием целостного подхода к анализу вариаций солнечной актив-

ности. Дальнейшее развитие целостного подхода было естественно завершить анализом “фазовых портретов” солнечных циклов на комплексной фазовой плоскости. С этой целью, применим метод траекторного анализа колебаний на комплексной фазовой плоскости с использованием аналитического сигнала. Аналитический сигнал является математической моделью исходного сигнала. На комплексной плоскости он отображается вектором, модуль и фазовый угол которого изменя-

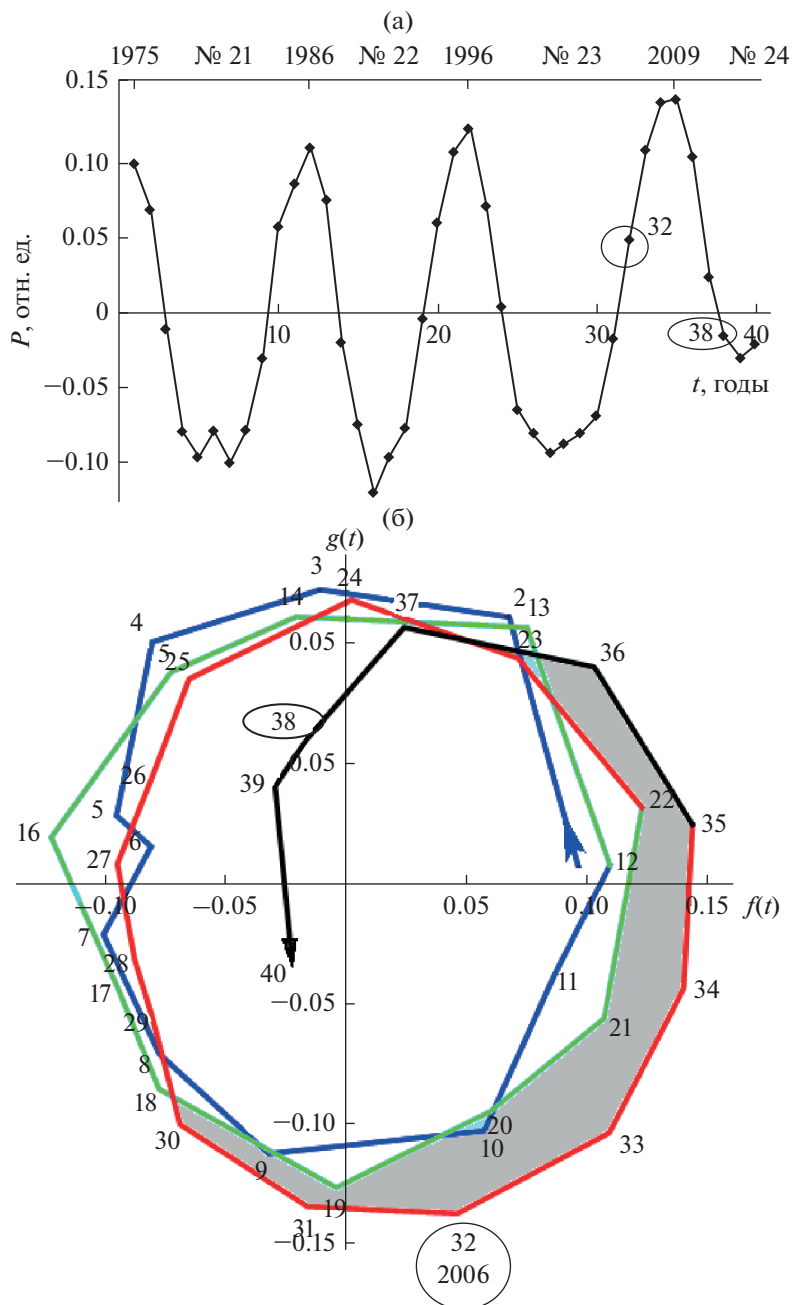


Рис. 3. “Фазовые портреты” последних 4-х неполных циклов № 21–24 (1975–2014 гг.), рассчитанные по среднегодовым значениям параметра флуктуаций ГКЛ. Вверху – временной ход параметра флуктуаций космических лучей. Показаны номера соответствующих циклов. Наибольшую площадь имеет 23 цикл.

ются от аргумента, а проекция сигнала на вещественную ось равна значению исходного сигнала.

“Фазовые портреты” 11-летней цикличности приведены на рис. 3. Они рассчитывались по среднегодовым значениям параметра флуктуаций ГКЛ. В верхней части рисунка, показан временной ход анализируемого параметра. На шкале времени приведены номера циклов. Наибольшую площадь, описывает траектория 23 цикла (увеличение площади показано штриховкой). Увеличе-

ние площади цикла начинается с 2006 г. (годовая точка на фазовой траектории № 32). Наибольшая площадь, замечаемая фазовой траекторией, считается признаком аномального цикла перед “фазовой катастрофой” [20], по сути – ее предвестником. В итоге, на языке “фазовых портретов” получено независимое подтверждение вывода о предвестнике в космических лучах сбоя 11-летней цикличности Солнца в современную эпоху – эпоху “Космической эры”.

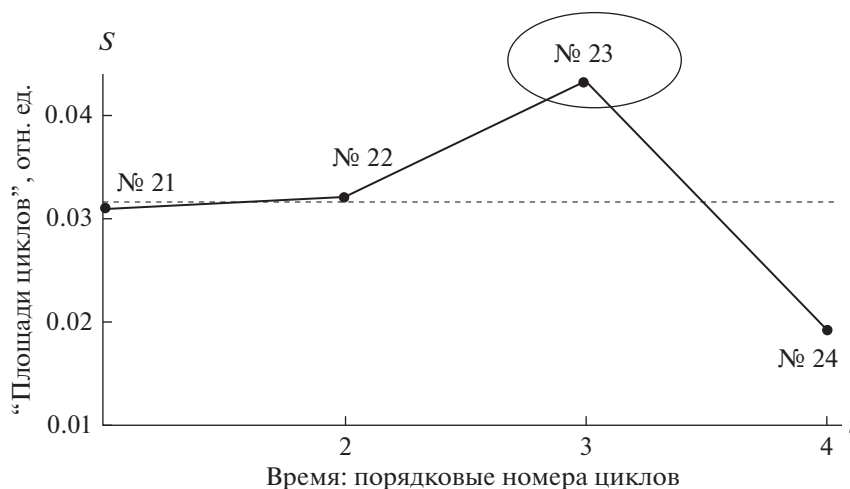


Рис. 4. Оценка площадей заметаемых под кривыми 11-летних циклов 21–24 (1975–2014 гг.) по их “фазовым портретам”, рассчитанным по среднегодовым значениям параметра флуктуаций ГКЛ. Показаны номера циклов. Наибольшая площадь 23 цикла является предвестником неординарного сбоя 11-летней цикличности в 23–24 циклах.

В таком случае, сейчас мы, как минимум, находимся на стадии неординарного спада солнечной активности и, как максимум — в начальной фазе затяжного сбоя 11-летней цикличности Солнца, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Прежде всего, имеется в виду ожидаемый аномально высокий, по сравнению с большинством циклов прошлого века, уровень интенсивности космических лучей в 2019–2021 гг. Впервые, подобный прогноз был дан по космическим лучам в 2006 г. [6]. Аномальное повышение радиационного фона тогда было зарегистрировано через год, в течение четырехлетнего периода 2007–2010 гг. В свою очередь, увеличение интенсивности ГКЛ способствует, как известно, усилению процесса облакообразования [21], интенсификации конвективных процессов в атмосфере, увеличению количества осадков и, как возможное следствие — понижению температуры в планетарном масштабе. В этом состоит альтернатива процессу глобального потепления, но все это будет иметь существенное значение лишь в случае глобального сбоя 11-летней цикличности, т.е. нарушения инварианта 22-летнего цикла.

ГЛОБАЛЬНЫЙ СБОЙ 11-ЛЕТНЕЙ ЦИКЛИЧНОСТИ СОЛНЦА КАК НАРУШЕНИЕ ИНВАРИАНТА 22-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА

Выше, было установлено, что увеличение площади “фазового портрета” солнечного цикла является предвестником сбоя 11-летней цикличности. Оценка площади заметаемой кривой солнечного цикла можно получить разными способами: по оценке площади заметаемой под кривой временного хода 11-летнего цикла и по оценке пло-

щади заметаемой фазовой траекторией на комплексной фазовой плоскости. Физический смысл термина “площади цикла” представляется более прозрачным во втором варианте (площадь, заметаемая фазовой траекторией на комплексной фазовой плоскости), нежели в первом. Площадь “фазового портрета” имеет размерность “фазового объема” (“действия”), с размерностью произведения “энергия · время”. В этом смысле, для фиксированного (во времени) цикла его площадь является характеристикой энергоемкости, изменение которой от цикла к циклу можно проследить, например, по изменению относительной вариации (<http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>) светимости Солнца в 11-летнем цикле.

Ниже приводится оценка площадей фазовых портретов солнечных циклов 21–24, т.е. характеристик их энергоемкости (по параметру флуктуаций ГКЛ). Площади циклов 21 и 22, практически, одинаковы (рис. 4). Неизменность площади фазового портрета солнечного цикла, как характеристики энергоемкости, указывает на консервативность системы в течение двух последовательных циклов 21 и 22. Консервативность, в указанном смысле, нарушается для двух последующих циклов 23 и 24. Нарушение консервативности системы означает наличие циклов с различной энергоемкостью (разными площадями). Это и наблюдается в циклах 23 и 24 (рис. 4): максимальная площадь приходится на 23 цикл, с последующим явным спадом площади “сбойного” 24 цикла (начиная с 2006 г.). Примечательно, что и относительная вариация светимости Солнца, как весьма очевидная характеристика энергоемкости цикла, начала уменьшаться также в 24 цикле, фактически, начиная с того же 2006 г.

Очевидно, что усреднение площадей пар соседних циклов сохраняет неизменность площадей пар 11-летних циклов: 21–22 и 23–24, т.е. неизменность площадей соседних 22-летних циклов или их энергоемкости. Это может означать консервативность системы (Солнца) в широком смысле, т.е. наличие инварианта с характерным масштабом длительности физического 22-летнего цикла. При условии сохранения указанного инварианта, после сбоя 11-летней цикличности в 23–24 циклах функционирование динамической системы (Солнца) в следующем 25 цикле (2021–2030 гг.) должно восстановиться! Это будет означать, что выполняется правило Гневышева-Оля, согласно которому, амплитуда предстоящего нечетного 25 цикла должна быть больше амплитуды четного цикла 24. В случае космических лучей, выполнение правила Гневышева-Оля соответствует выполнению следующего физического критерия: уровень радиационного фона ГКЛ в максимуме 25 цикла (с 2024 на 2025 гг.) должен быть значительно ниже уровня радиационного фона ГКЛ в максимуме 24 цикла (2014 г.). В таком случае, текущий неординарный сбой 23–24 циклов будет иметь статус “локального”, как и в случае локального (по нашим представлениям) сбоя, имевшего место, например, в циклах 19–20.

И только в случае нарушения инварианта с характерным масштабом 22-летнего цикла, т.е. нарушения консервативности в широком смысле, мы сталкиваемся с ситуацией глобального сбоя 11-летней цикличности или “фазовой катастрофы”. Примером тому, являются глобальные минимумы активности Солнца, известные как: минимум Маундера, минимум Дальтона и минимум Глайсберга. Нарушение инварианта физического 22-летнего цикла означает нарушение консервативности системы: уменьшение относительной вариации светимости Солнца в 25 цикле (в целом) подобно тому, что наблюдается сейчас в текущем 24 цикле.

Не восстановление 11-летней цикличности в 25 цикле будет означать нарушение правила Гневышева-Оля, согласно которому, амплитуда предстоящего нечетного 25 цикла должна быть больше амплитуды четного цикла 24. В случае космических лучей, нарушение правила Гневышева-Оля соответствует выполнению следующего физического критерия: уровень радиационного фона ГКЛ в максимуме предстоящего 25 цикла (с 2024 на 2025 гг.) должен быть выше (или равен), т.е. не ниже уровня радиационного фона в максимуме 24 цикла (2014 г.). В этом случае, статус неординарного сбоя 23–24–25 циклов сменится с локального на глобальный, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

АКТУАЛЬНОСТЬ СМЕНЫ ПАРАДИГМЫ “ЛИНЕЙНОЙ СУПЕРПОЗИЦИИ” ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЛН АКТИВНОСТИ СОЛНЦА

Нарушение инварианта физического 22-летнего цикла, т.е. реализация сценария глобального сбоя 11-летней цикличности (в случае не восстановления 11-летней цикличности в 25 цикле), могла бы означать реальность нелинейных режимов эволюции магнитного поля Солнца. Очевидно, что сбой 11-летней цикличности по сценарию “фазовой катастрофы”, отличается от известного сценария “линейной суперпозиции” периодических волн (11 лет и 200 лет и т.д.). В соответствии со сценарием “линейной суперпозиции”, наступление затяжного сбоя 11-летней цикличности ожидается лишь с середины 21 века.

Важно заметить, что реализация на Солнце не тривиального нелинейного режима “самоорганизованной критичности”, когда весьма нерегулярно, т.е. катастрофически стравливается избыток запасенной в системе энергии [22], лишает физических оснований идеологию “линейной суперпозиции волн” (11 и 200 лет) применительно к физике Солнца. В этом случае, становится очевидной причина запаздывания на полвека (!) неординарного сбоя в цикличности Солнца, прогноз которого сторонниками идеологии “линейной суперпозиции” был дан на середину 21 века. В реальности же, неординарный сбой 11-летней цикличности начался с 23 цикла, т.е. уже случился, притом, в начале 21 века, в соответствии с прогнозом, данным по космическим лучам в 2006 г. [6].

К настоящему времени, уже появились первые признаки нарушения инварианта 22-летнего цикла, т.е. первые признаки глобального сбоя 11-летней цикличности: в декабре 2019 г. превышен своеобразный рекорд эпохи “Космической эры” — числа “беспятенных” дней 2008 г. Сейчас, на очереди — “рекорд” на превышение уровня радиационного фона галактических космических лучей 2009 года (рис. 1). Оба указанных признака являются лишь необходимыми условиями глобального сбоя 11-летней цикличности: они относятся к фазе текущего минимума активности Солнца. Достаточным условием послужит выполнение следующего физического критерия: уровень радиационного фона ГКЛ в максимуме предстоящего 25 цикла (с 2024 на 2025 гг.) должен быть выше (или равен), т.е. не ниже уровня радиационного фона в максимуме 24 цикла (2014 г.). При выполнении указанных “необходимых и достаточных” физических критериев, статус неординарного сбоя 23–24–25 циклов сменится с локального на глобальный, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. По космическим лучам впервые был дан среднесрочный прогноз активных фаз 11-летнего цикла (<http://www.forshock.ru/predlong.html>) с заблаговременностью порядка ~1 оборота Солнца. Это обусловлено тем, что предвестник в космических лучах является индикатором перестройки магнитного поля на переходном режиме к активной фазе солнечного цикла.

2. Обнаруженное по космическим лучам увеличение площади солнечного цикла 23 (<http://www.forshock.ru/predvlong.html>) явилось предвестником сбоя 11-летней цикличности: в соответствии с гипотезой автора об инварианте 22-летнего цикла, вслед за увеличением площади 23 цикла последовало уменьшение площади (энергоемкости) следующего 24 цикла. Уменьшение энергоемкости сопровождается уменьшением относительной вариации (<http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>) светимости Солнца, которая в 24-цикле уменьшилась до уровня среднего значения трех предыдущих циклов, т.е. практически вдвое. Дан прогноз многолетнего увеличения радиационного фона космических лучей в 2019–2021 гг.

3. В случае сохранения инварианта 22-летнего цикла, 11-летний цикл в 25-м цикле должен будет восстановиться. Это будет означать выполнение следующего физического критерия: уровень радиационного фона ГКЛ в максимуме 25 цикла (с 2024 на 2025 гг.) должен быть значимо ниже уровня радиационного фона ГКЛ в максимуме 24 цикла (2014 г.). В этом случае текущий неординарный сбой циклов 23–24–25 будет иметь статус локального.

4. В случае нарушения инварианта 22-летнего цикла, восстановления 11-летней цикличности в 25 цикле не произойдет. Это будет соответствовать выполнению следующего физического критерия: уровень радиационного фона ГКЛ в максимуме предстоящего 25 цикла (с 2024 на 2025 гг.) должен быть выше (или равен), т.е. не ниже уровня фонового излучения в максимуме 24 цикла (2014 г.). В этом случае, статус неординарного сбоя 23–24–25 циклов изменится с локального на глобальный, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

И в заключение следует сказать, что многолетние исследования автора, по изучению переходных режимов солнечного ветра (различных масштабов) к активной фазе солнечного цикла, нашли свое отражение в итоговой монографии по Космической погоде [23]. Указанная монография вышла в издательстве Elsevier в США, написанная коллективом известных российских и зару-

бежных авторов: “Несколько лет назад было достоверно установлено, что параметр флуктуаций ГКЛ может быть использован как индикатор фазы роста солнечной активности в 11-летнем цикле [24]. По данным долговременных наблюдений за флуктуациями ГКЛ, эти авторы, по сути, предсказали сбой фазы солнечной активности в 24 цикле. Развивая этот подход, авторы [7] не исключают так называемую “фазовую катастрофу” в цикле 25 (2020–2030 гг.), аналогичной эпохе глобального минимума Дальтона. Это предупреждение, на наш взгляд, заслуживает внимания”.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Вячеславу Валерьевичу Козлову за разработку, создание и программное сопровождение роботизированной экспертной системы прогноза и диагностики геоэффективных событий Космической погоды в режиме реального времени Cyber-FORSHOCK (<http://www.forshock.ru/pred.html>), по 5-мин данным Европейской БД космических лучей.

Автор выражает также искреннюю признательность и благодарность Илье Усоскину, Университет г. Оулу, геофизическая обсерватория Соданкила (Финляндия, <http://cosmicrays oulu.fi/>) за любезно предоставленные кондиционные 5-мин данные измерений нейтронного монитора ст. Оулу за длительный период времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carbonel M., Oliver L., Ballester J.L. A Search for Chaotic Behavior in Solar Activity // *Astronomy and Astrophys.* 1994. V. 290. № 3. P. 983–994.
2. Михайлуца В.П., Фатьянов М.П. Размерность и структура солнечного аттрактора по значениям энергии магнитного поля Солнца в 21 цикле // *Солнечные данные.* 1989. № 11. С. 109–116.
3. Козлов В.И. Масштабная инвариантность динамики флуктуаций космических лучей на геоэффективных фазах солнечного цикла // *Геомагнетизм и аэронаука.* 1999. Т. 39. № 1. С. 95–99.
4. Козлов В.И. Оценка скейлинговых свойств динамики флуктуаций космических лучей в цикле солнечной активности // *Геомагнетизм и аэронаука.* 1999. Т. 39. № 1. С. 100–104.
5. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. М. МГУ: ЛОГОС, 2005.
6. Козлов В.И., Марков В.В. Вейвлет-образ тонкой структуры 11-летнего цикла по исследованию флуктуаций космических лучей в 20–23 циклах // *Геомагнетизм и аэронаука.* 2007. Т. 47. № 1. С. 47–55.
7. Козлов В.И., Козлов В.В. АРИТМИЯ СОЛНЦА. В космических лучах. Якутск: ФГБУН ИМЗ СО РАН. ИКФИА СО РАН, 2016.
8. Козлов В.И. Основания прогноза активности Солнца на базе мониторинга космических лучей // *ВЕСТНИК СВФУ.* № 6(68). 2018. Якутск. СВФУ-ИКФИА. С. 68–80.

9. *Dennis B.R.* Solar hard X-ray bursts // *Solar Physics*. 1985. V. 100. P. 465–490.
10. *Bak P., Tang C., Wiesenfeld K.* Self-organized criticality // *Phys. Rev.* 1988. V. 38. № 1. P. 364–374.
11. *Bak P.* HOW NATURE WORKS. The science of self-organized criticality. Springer-Verlag, New York, Inc. 1996.
12. *Подлазов А.В., Осокин А.Р.* Самоорганизованная критичность эруптивных процессов в солнечной плазме // *Мат. моделирование*. 2002. Т. 14. № 2. 118–126.
13. *Зеленый Л.М., Милованов А.В.* Фрактальная топология и странная кинетика: от теории перколяции к проблемам космической электродинамики // *УФН*. 2004. Т. 174. № 8. С. 809–852.
14. *Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин И.Д.* Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983.
15. *Язев С.А.* Комплексы активности на Солнце в 23 цикле активности // *Солнечно-земная физика*. Иркутск. 2010. Вып. 16. С. 94–101.
16. *Мордвинов А.В., Язев С.А., Лхагважав Ч., Батмунх Д.* Комплексы активности и структура крупномасштабного магнитного поля Солнца в цикле 24 // *Современная геодинамика и опасные природные процессы в центральной Азии*. Иркутск. 2011. Вып. 7. С. 10–15.
17. *Мордвинов А.В., Головка А.А., Язев С.А.* Комплексы активности и инверсия магнитного поля на полюсах Солнца в текущем цикле // *Солнечно-земная физика*. Иркутск. 2014. Вып. 25. С. 3–9.
18. *Тлатов А.Г.* Трехкратная переполюсовка крупномасштабного магнитного поля Солнца в 24-м цикле активности и прогноз амплитуды 25-го цикла активности // Тезисы доклада на 9-й ежегодной конференции ИКИ “ФИЗИКА ПЛАЗМЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ”. 10–14 февраля 2014. С. 4.
19. *Обридко В.Н., Шельтинг Б.Д.* Об отрицательной корреляции между солнечной активностью и скоростью вращения Солнца // *Письма в Астрономический журнал*. 2016. Т. 42. № 9. С. 694–700.
20. *Витинский Ю.И., Копецкий М., Куклин Г.В.* Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 1986.
21. *Крымский Г.Ф.* Космические лучи и околоземное пространство // *Солнечно-земная физика*. ИСЗФ СО РАН. Иркутск. 2002. Вып. 2. № 115. С. 42–45.
22. *Козлов В.И., Козлов В.В.* АРИТМИЯ СОЛНЦА. В космических лучах. Якутск: ФГБУН ИМЗ СО РАН. ИКФИА СО РАН, 2018.
23. *Panasyuk M., Kalegaev V., Miroshnichenko L. et al.* EXTREME SOLAR & GEOMAGNETIC CONDITIONS. Extreme Events in Geospace: origins, predictability, and consequences. Isevier, 2017. P. 358. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812700-1.00013-3>
24. *Kozlov V.I., Kozlov V.V.* Cosmic ray fluctuation parameter as indicator of 11-year cycle activity growth phase // *J. Phys. Conf. Ser.* 2013. V. 409. P. 012160. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/409/1/012160>