

УДК 577.1

КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ» С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

Зенченко Т.А., Конрадов А.А., Зенченко К.И.

ВВЕДЕНИЕ

Несколько десятков лет назад С.Э. Шнолем был разработан новый подход к исследованию особенностей динамики результатов измерений скоростей различных процессов, включавший в себя и новый метод анализа временных рядов. Метод заключался в нахождении «сходных» участков длинного временного ряда данных через установление сходства или различия тонкой структуры соответствующих им выборочных распределений (гистограмм) [1].

Применение этого метода позволило выявить определенные закономерности в разбросе результатов квазистационарных процессов самой разной природы и разного масштаба энергий [2]. Так, было обнаружено, что в каждом из исследованных процессов отрезки временного ряда со сходной структурой выборочных распределений расположены не хаотично, а достоверно чаще оказываются разделены вполне определенными временными интервалами, кратными суткам, месяцу и году (эффект «выделенных периодов»), чем любыми другими интервалами. Было сделано заключение, что во временном ряду гистограмм существует определенного рода периодичность, не выявляемая стандартными методами спектрального и корреляционного анализа. Этот вывод был многократно подтвержден на временных рядах гистограмм, построенных по результатам измерений скорости радиоактивного альфа-распада, которые подчинялись статистике Пуассона и не содержали значимых периодов в соответствующих спектрах Фурье [3].

Кроме того, было обнаружено, что форма гистограммы, построенной по отрезку ряда данных за время Δt (от момента времени T до момента $T+\Delta t$), с наибольшей вероятностью будет сходна с формой гистограммы, построенной по ближайшему следующему временному интервалу (от $T+\Delta t$ до $T+2\Delta t$). Эта «инерция формы» гистограмм, получившая название «эффект ближней зоны» (ЭБЗ), наблюдается при различных масштабах времени измерений, от секунд до часов [3].

Однако степень выраженности «эффекта ближней зоны», или амплитуда ЭБЗ (отношение концентрации сходных пар гистограмм, разделенных интервалом времени Δt (соседних гистограмм), к средней концентрации сходных пар для всех остальных проанализированных временных интервалов) сильно варьирует даже в рамках одного эксперимента. Чтобы определить, существуют ли какие-нибудь закономерности в степени выраженности эффекта, и с чем они могут быть связаны,

мы провели исследование динамики ЭБЗ в нескольких экспериментах длительностью 20 суток каждый (длительность одной гистограммы (Δt) составляла 1 минуту (60 ежесекундных измерений)). Анализ показал, что основной и обычно единственный период, отчетливо наблюдаемый в степени выраженности этого эффекта, составляет от 3.5 до 5.5 суток [4].

Точные значения обнаруженных периодов характерны для многих гелио- и геофизических индексов [5]. Это позволило нам предположить, что между изменением амплитуды ЭБЗ и какими-либо из этих параметров может существовать статистическая зависимость, что косвенно указывало бы на возможную природу наблюдаемого эффекта. Целью данной работы было прямое сопоставление динамики амплитуды ЭБЗ и различных гелиогеофизических индексов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Гистограммный метод анализа временных рядов (основные этапы преобработки данных).

На рисунке 1 приведен ряд последовательных значений интенсивности альфа-распада (число распадов за 10 секунд), разбитый на короткие (60 измерений) неперекрывающиеся отрезки (таким образом, длительность каждого отрезка равна 600 секунд или 10 мин). Для каждого отрезка было построено выборочное распределение значений по максимально возможному для данного отрезка числу бинов: $n = \max(N) - \min(N)$. Следует специально отметить, что описанная процедура построения гистограммы по явно избыточному числу бинов (их число сравнимо с числом измерений) не противоречит общим правилам построения выборочных распределений, рекомендованных для решения вопроса о принадлежности данного выборочного распределения к определенному виду [6], поскольку здесь решается другая задача, и анализируемая полимодальная форма гистограммы не означает вывода о полимодальности генерального распределения (гипотеза о подчинении анализируемых выборочных распределений статистике Пуассона была предварительно проверена и подтверждена стандартными методами).

Для выделения низкочастотной составляющей полученные распределения сглаживают несколько раз методом скользящего среднего по трем точкам с прямоугольным окном.

Примеры полученных выборочных распределений, до и после сглаживания, приведены на рисунке 1 внизу.

Рисунок 2 иллюстрирует процедуру отбора сходных по форме пар гистограмм. Здесь по горизонтали и по вертикали изображен один и тот же ряд гистограмм, а на пересечении строк и столбцов в нижней половине матрицы приведены соответствующие совмещенные пары, и те, которые были признаны сходными, выделены более ярко и даны их номера. Поскольку матрица сравнения получается диагонально-симметричной, в ее верхней части те же признанные сходными пары изображены затемненными ячейками, чтобы наглядно продемонстрировать суть эффекта ближней зоны, а также нестабильность его амплитуды: концентрация сходных пар на первой диагонали выше, чем в среднем по матрице, но при этом она непостоянна на разных ее отрезках (в первой половине – четыре из четырех возможных пар оказываются сходными, во второй – только две из четырех возможных).

КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

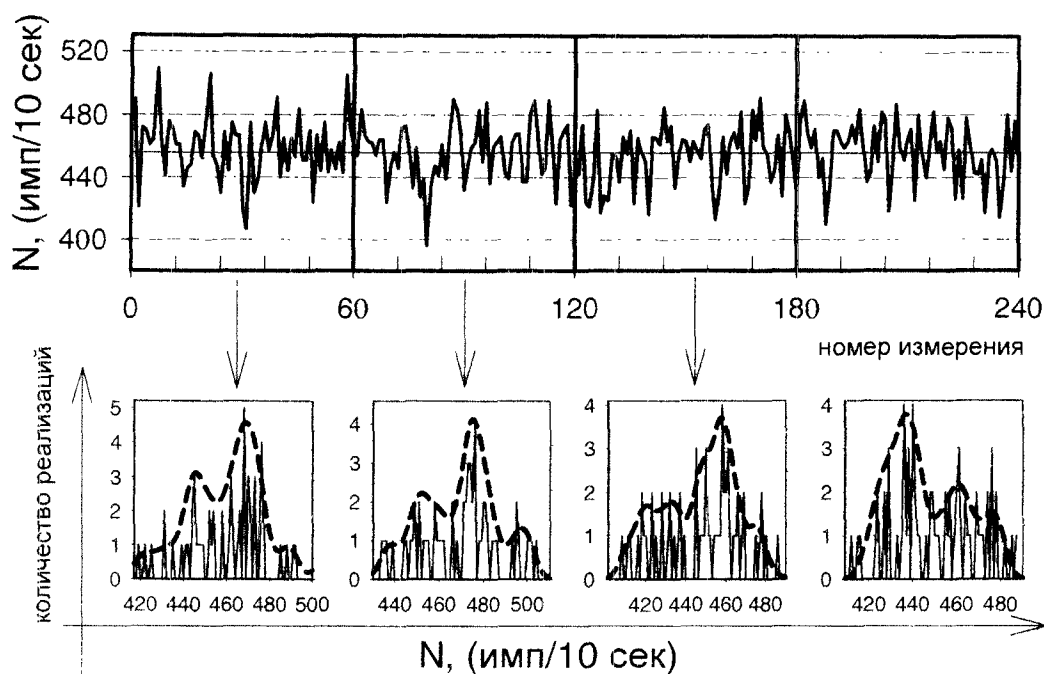


Рис. 1. Пример отрезка временного ряда данных (вверху) и преобразованный из него временной ряд гистограмм (внизу). Штриховой линией изображена форма гистограммы, получаемая из исходного распределения сглаживанием прямоугольным окном. Каждая гистограмма соответствует временному интервалу 10 мин.

На рисунке 3 приведена иллюстрация реальной динамики числа сходных пар гистограмм на разных диагоналях матрицы сравнения. Видно, что концентрация сходных пар на первой и второй диагоналях испытывает сильные (и практически синхронные) вариации, в то время как на «дальних» диагоналях (в данном случае четвертой и восьмой) этот параметр остается практически постоянным – 16% (далее эту величину будем считать средним уровнем случайного сходства).

Метод анализа динамики амплитуды ЭБЗ

Для изучения динамики амплитуды ЭБЗ был проанализирован полученный в нашей лаборатории непрерывный ряд измерений интенсивности альфа-распада плутония-239 (одно измерение – количество распадов за 10 секунд) длительностью 136 суток. Измерения проводили посредством полупроводникового детектора.

Гистограммы были построены по шестидесяти значениям (всего около 20 тыс гистограмм, 144 гистограммы в сутки). Эксперт устанавливал сходство или различие формы соседних гистограмм, т.е. пар, расположенных на первой диагонали на рис 2. На рисунке 4 приведена динамика ежесуточных значений относительной амплитуды ЭБЗ (количества сходных пар соседних гистограмм, полученных в течение данных суток, деленное на 23 (т.е. 16% от 144 гистограмм – среднесуточное количество сходных пар для остальных интервалов).

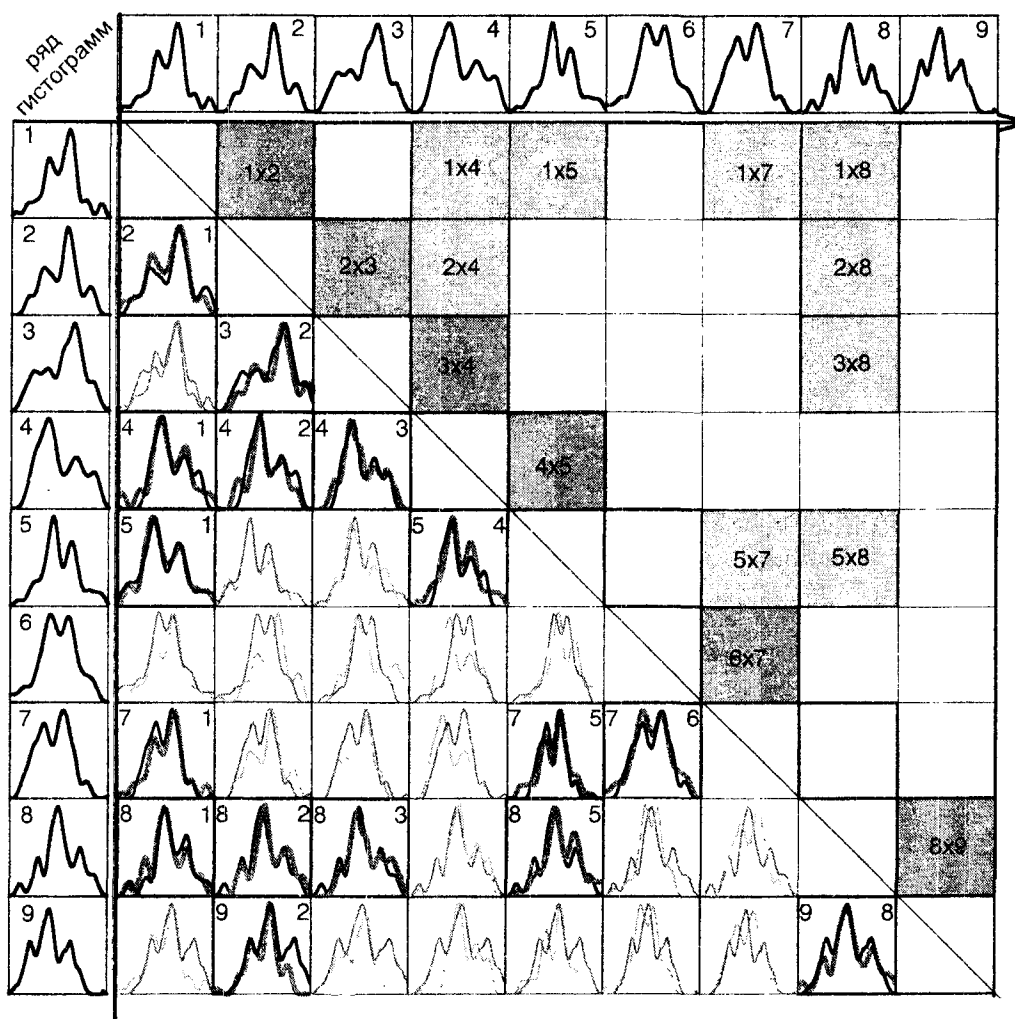


Рис. 2. Иллюстрация процедуры попарного сравнения формы гистограмм – матрица сходства. Подробности в тексте

Для сопоставления были использованы ежесуточные значения следующих индексов за интервал времени с 1 февраля по 17 июня 2002г:

- индексы солнечной активности (числа Вольфа (WN) и интенсивность потока радиоизлучения на длине волны 10.7 см (RF10.7)),
- модуль полного вектора B напряженности межпланетного магнитного поля (B_{tot} ММП),
- концентрация протонов и электронов в солнечном ветре
- значения планетарного индекса геомагнитной активности A_p , измеренного отдельно по сети среднеширотных (A_{pm}) и высокоширотных станций (A_{ph}),

КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ» С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

- значения Dst-вариации,
- значения PC-индекса, отражающего степень геомагнитной возмущенности полярной зоны [7]

Данные были взяты с сайтов <http://www.sec.noaa.gov> и <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov>

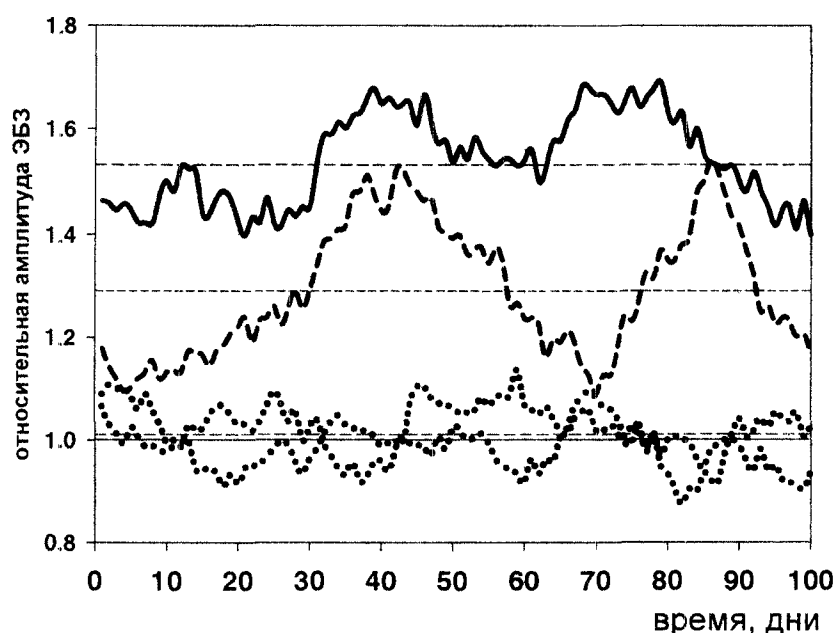


Рис. 3 Иллюстрация динамики числа сходных пар на разных диагоналях матрицы сравнения. Сплошная линия – первая диагональ («ближняя зона»), штриховая линия – вторая диагональ, пунктирные линии – четвертая и восьмая диагонали. Обсуждение в тексте.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Как видно из рис.5, функция спектральной плотности ежесуточных значений амплитуды ЭБЗ содержит несколько статистически значимых периодов: 5.5, 7.5, и 13.5 суток.

Сравнение с солнечной активностью. В спектре чисел Вольфа представлен только период 13.5d, но поскольку он представлен в спектрах всех основных гелиогеофизических индексов, говорить о связи динамики ЭБЗ именно с числами Вольфа нельзя. Какой-либо значимой связи со значениями потока радиоизлучения RF10.7 и концентрациями протонов и электронов различных энергий обнаружено не было.

При сравнении функций спектральной плотности амплитуды ЭБЗ и значений модуля полной индукции B_{tot} межпланетного магнитного поля, а также Ap-индекса магнитного поля Земли, было обнаружено совпадение периодов, равных 13.5 и 7.5 дням, а также синхронное возрастание спектральной плотности в районе 5-6 дней (рис 5).

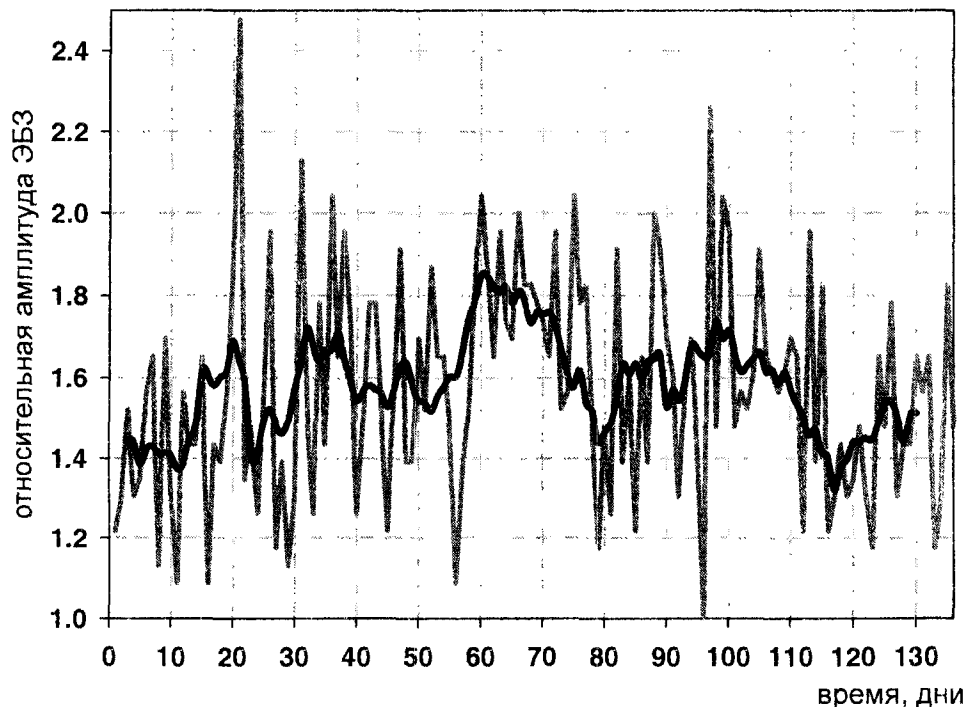


Рис. 4 Ежесуточная динамика амплитуды ЭБЗ (серая линия) и ее низкочастотная составляющая (черная кривая), полученная сглаживанием по 10 точкам скользящим средним

Спектральный анализ отдельных компонент вектора V_{tot} показал, что каждая из них обладает набором периодов, не совпадающих с периодами в спектре амплитуды ЭБЗ

Таким образом, все основные периоды динамики амплитуды ЭБЗ представлены в спектре модуля V_{tot} , а два из трех – также и в спектре Ар-индекса.

При наложении низкочастотных компонент динамики ЭБЗ и модуля V_{tot} ММП (рис. 6) видно, что общий ход кривых имеет очень сходный характер, при этом максимум корреляции достигается при сдвиге ряда значений V_{tot} назад на 11 суток.

Однако в длиннопериодной области спектра не было обнаружено совпадения периодов ни с одним из исследованных гелиогеофизических индексов. Это может объясняться плохой применимостью метода Фурье-анализа в данной области спектра, поскольку период этой низкочастотной составляющей довольно сильно варьирует (25-40 суток).

Нужно отметить, что при кросскорреляционном анализе (также, как и при спектральном) динамики амплитуды ЭБЗ и отдельных компонент вектора V_{tot} значимых корреляций при каких-либо сдвигах фаз получено не было

КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

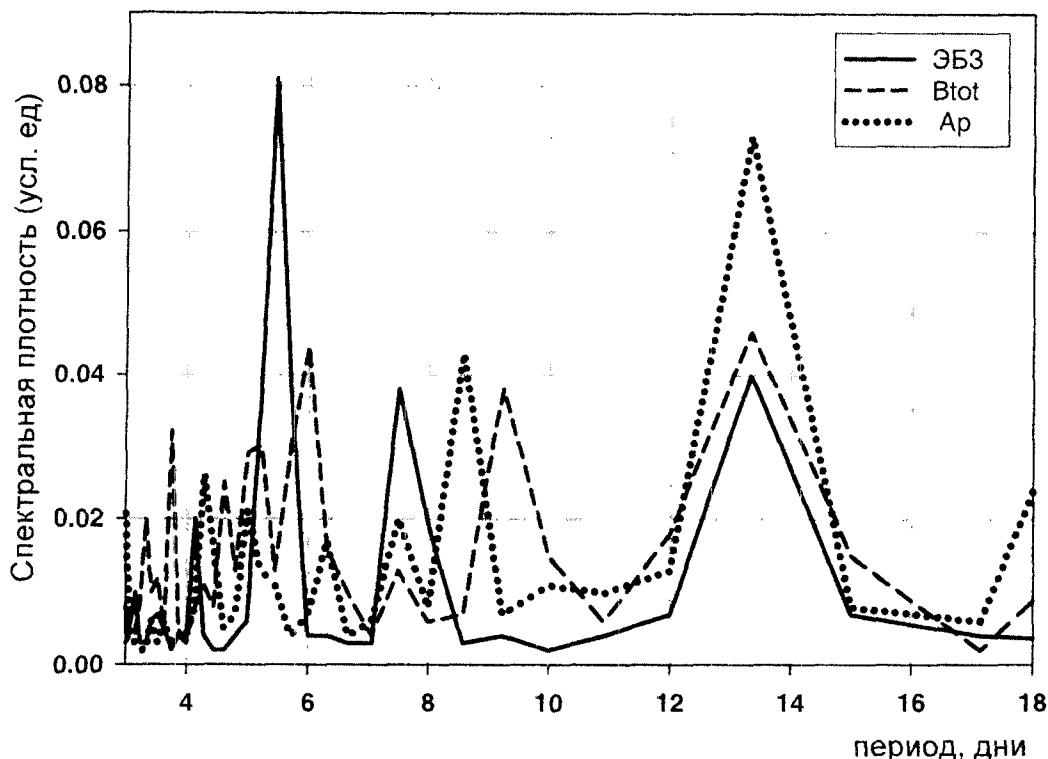


Рис. 5 Функции спектральной плотности в области коротких периодов.
Сплошная линия – динамика амплитуды ЭБЗ, штриховая линия – модуль V_{tot} ММП,
пунктирная линия – среднеширотный A_p

На рисунке 7 показана сравнительная динамика ЭБЗ и Dst-вариации (с обратным знаком). Видно, что и в этом случае максимум корреляции достигается при сдвиге ряда значений Dst-вариации назад на 12 суток (этот вывод согласуется с выводом рисунка 6, поскольку значения Dst-вариации отстают от значений модуля V_{tot} на несколько часов).

Сравнение низкочастотных компонент динамики амплитуды ЭБЗ и значений A_p -индекса показал, что совпадение (со сдвигом на 11 дней) с рядом среднеширотных значений A_p выражено гораздо лучше, чем с рядом высокоширотных (рис 8).

Для нефильтрованных рядов значение коэффициентов кросскорреляции амплитуды ЭБЗ с перечисленными индексами при указанных сдвигах (и только при таких сдвигах фаз, в диапазоне от -40 до +40 дней)) значимы за уровне $p < 0.01$.

СРАВНЕНИЕ СО СКОРОСТЬЮ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНДЕКСОВ

Сопоставление динамики амплитуды ЭБЗ с изменчивостью (скоростью изменения по модулю) вектора магнитной индукции V_{tot} ММП показывает, что в этом случае также наблюдается значимая корреляция, но фазовый сдвиг равен нулю – максимумы

проявления эффекта ближней зоны совпадают с максимумами скорости изменения модуля вектора B_{tot} (рис 9). Аналогичная зависимость была получена для скорости изменения Dst-вариации (рис 10). В последнем случае сдвиг составляет 1 день.

Незначительная корреляция была также обнаружена для скорости изменения среднеширотного Ap-индекса. Для остальных проанализированных в данной работе индексов солнечной и геомагнитной активности значимой связи обнаружено не было.

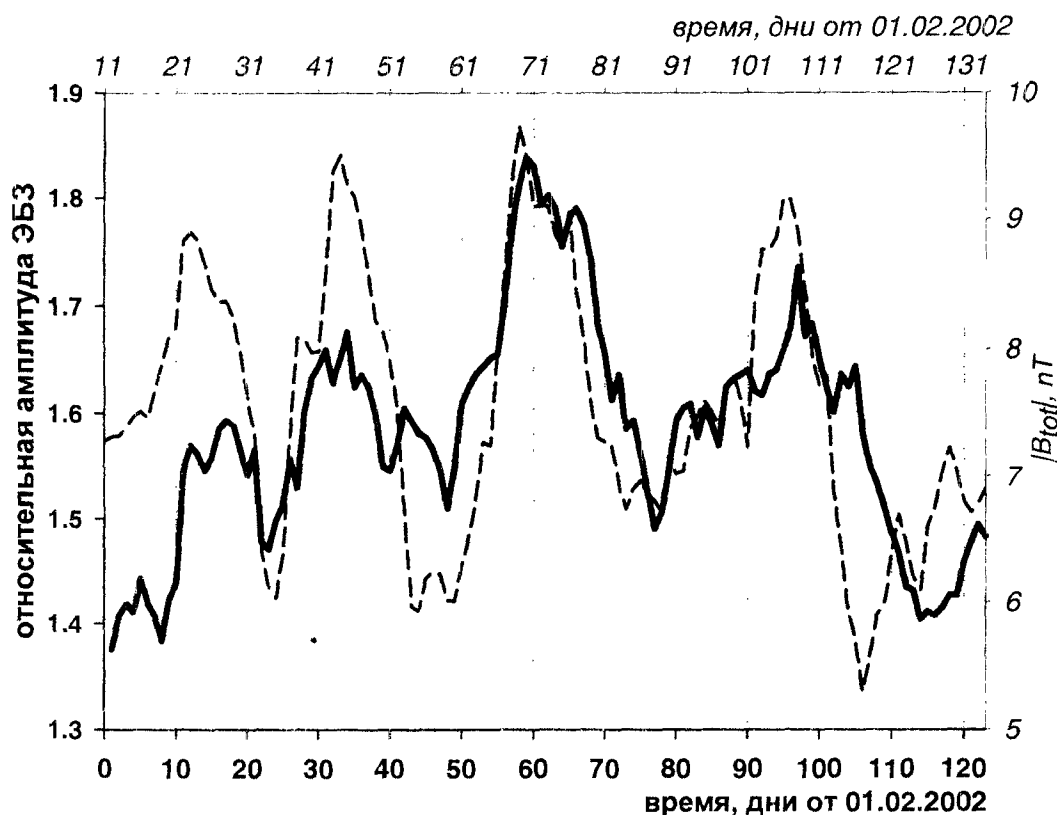


Рис. 6. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и модуля вектора полной индукции B_{tot} ММП.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, результаты данной работы позволяют сделать вывод о существовании статистической связи между динамикой амплитуды ЭБЗ и изменением индексов, характеризующих магнитную активность межпланетной среды (и связанные с ней геомагнитные вариации).

Ни одним из использованных в работе методов не было обнаружено какой-либо связи с потоком радиоизлучения или концентрацией протонов и электронов в солнечном ветре. Нельзя говорить о связи с числами Вольфа, поскольку период 13.5 дн. характерен и для других индексов, с которыми обнаружена намного более значимые связи.

КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.

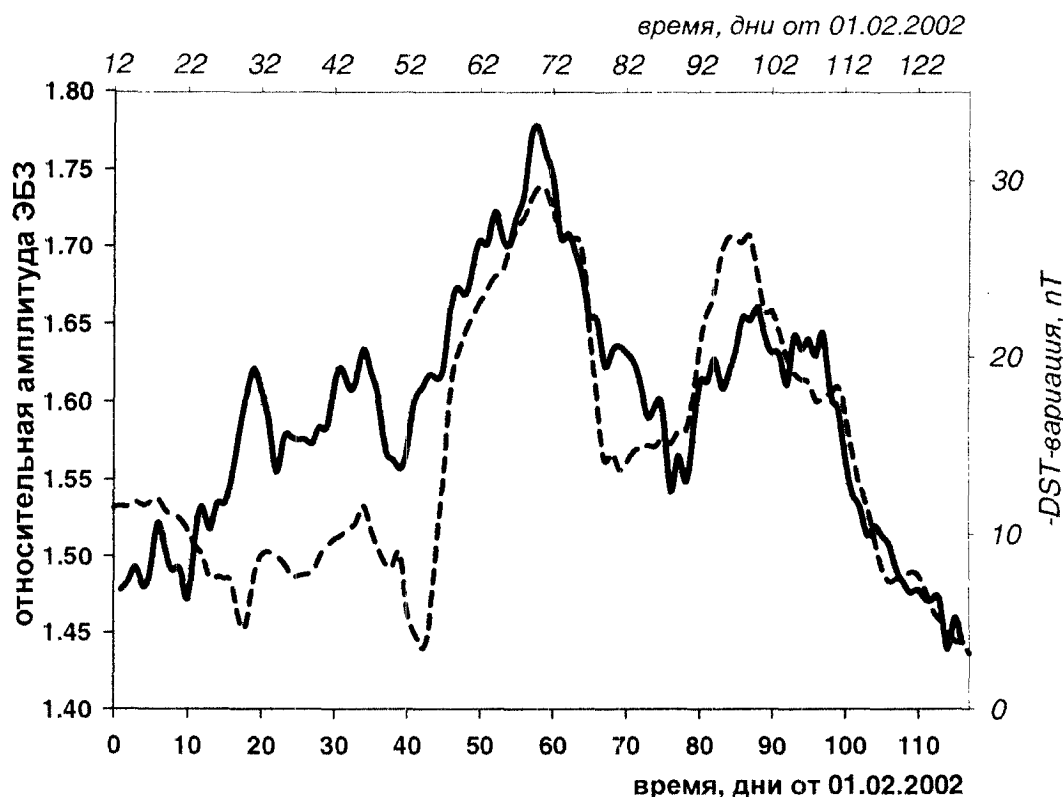


Рис. 7. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и Dst-вариации с обратным знаком.

Значимыми в данном случае оказываются полный вектор магнитной индукции и значения геомагнитной активности на средних широтах (с высокоширотными значениями ГМА связь гораздо более слабая). Резонно было бы предположить, что связь с ММП в данном случае скорее опосредованная, именно через геомагнитные вариации. Нельзя также исключать, что важность именно среднеширотных значений A_p обусловлена каким-то образом расположением измерительного прибора на широте Москвы (54° с.ш.). Эта гипотеза требует дополнительной проверки с использованием данных, полученных на высоких широтах, например, в Антарктиде.

Таким образом, результаты анализа показывают, что эффект Шноля («инерция формы гистограмм» или отличный от нуля радиус корреляции для зависимости частоты сходства гистограмм от интервала времени между ними) наиболее сильно проявляется в моменты максимально быстрого изменения параметров, характеризующих межпланетную и геомагнитную активность. Другой результат — опережение динамикой ЭБЗ на 11 дней соответствующих значений магнитных индексов выглядит в настоящий момент совершенно необъяснимым, и требует дальнейшего исследования.

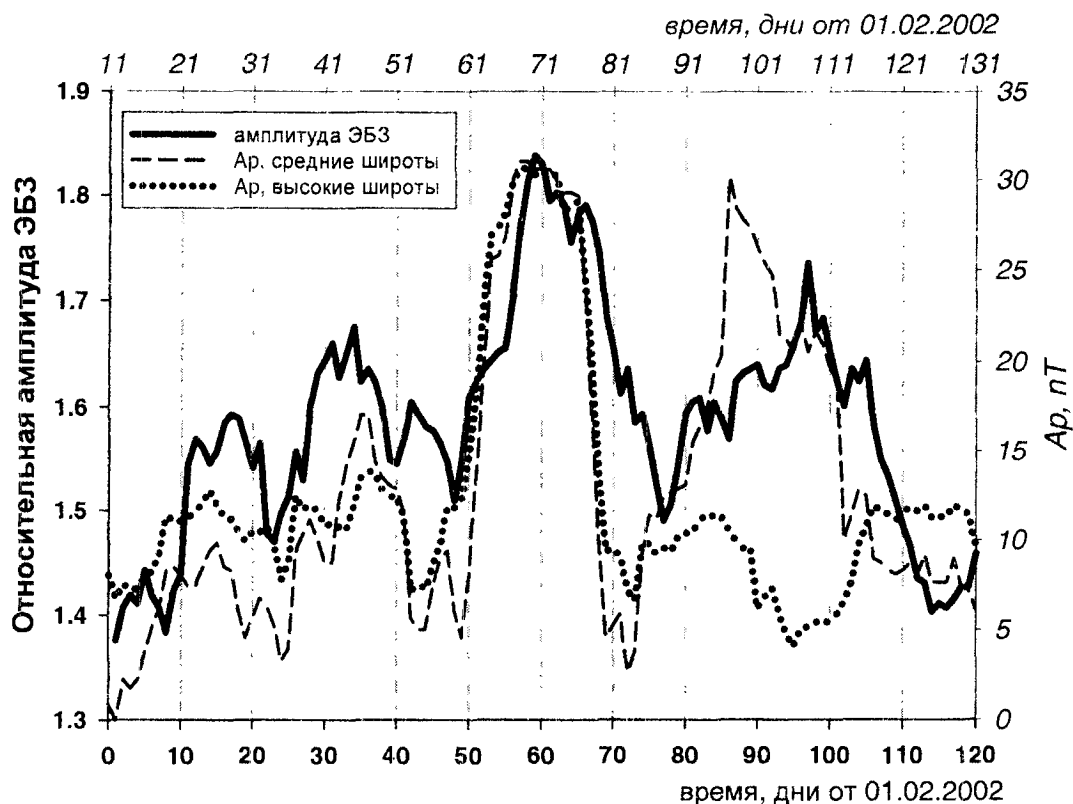


Рис. 8. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и значений индекса Ap, измеренного на средних и высоких широтах

Как уже многократно обсуждалось ранее [2] в данном случае речь не может идти о прямом влиянии магнитного поля ни на измеряемый процесс (радиоактивный распад), ни на прибор, работающий в логике 0, 1 (регистрирующий только количество актов распада) и имеющий передаточную функцию в виде прямоугольной ступеньки. В настоящий момент не существует признанной теории, объясняющей эффект Шноля, или хотя бы указывающей однозначно на его возможную природу. Возможные гипотезы, основанные на изменении свойств окружающего пространства-времени [8, 9] не объясняют обнаруженной связи степени выраженности эффекта с изменчивостью магнитного поля, но и не противоречат такой возможности

Таким образом, полученные в данной работе результаты нужно рассматривать как расширение феноменологической картины эффекта Шноля, которые со временем могут привести к пониманию его природы.

**КОРРЕЛЯЦИЯ ДИНАМИКИ АМПЛИТУДЫ «ЭФФЕКТА БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ»
С ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ.**

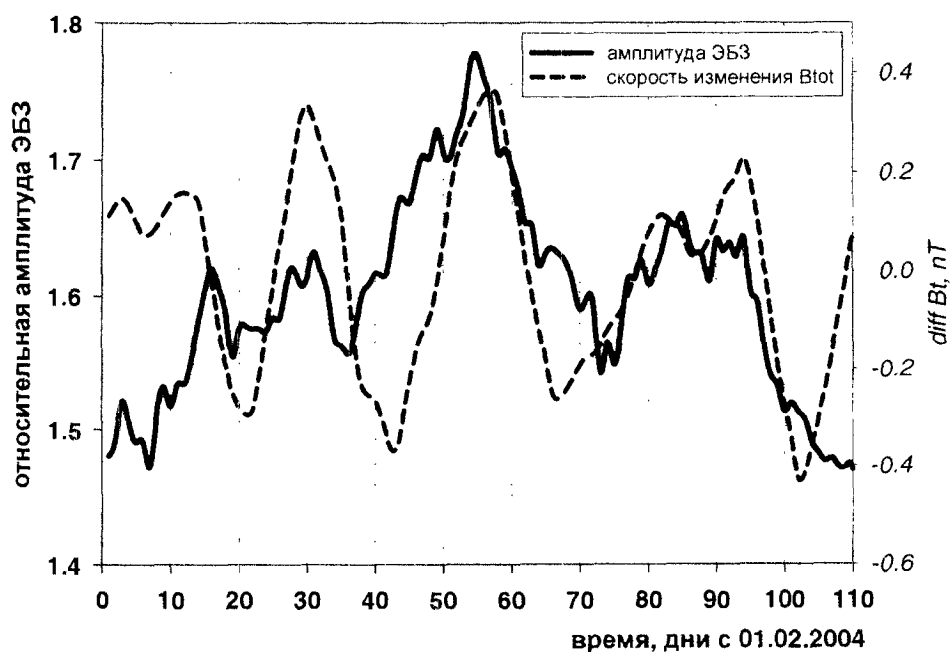


Рис. 9. Сопоставление динамики амплитуды ЭБЗ и скорости изменения модуля B_{tot} ММП, кривые сглажены по 10 точкам.

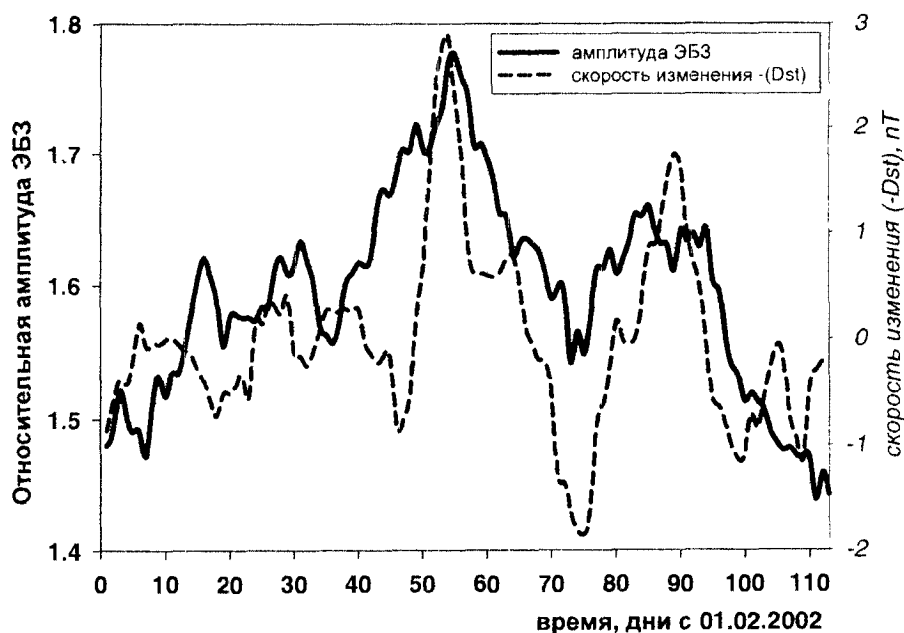


Рис. 10. Сравнение динамики амплитуды ЭБЗ и скорости изменения Dst-вариации с обратным знаком.

Список литературы

1. С.Э. Шноль – Макроскопические флуктуации с дискретным распределением амплитуд в процессах различной природ // *Итоги науки и техники, Молекулярная биология.* - М. ВИНТИ, ред. В.И. Скулачев, 1985. – Т. 5, - С. 130-200
2. С.Э. Шноль, В.А. Коломбет, Э.В. Пожарский, Т.А. Зенченко, И.М. Зверева, А.А. Конрадов – О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах // *Успехи физических наук.* – 1998. – Т. 168, № 10. - С. 1129-1140.
3. С.Э. Шноль, Т.А. Зенченко, К.И. Зенченко, Э.В. Пожарский, В.А. Коломбет, А.А. Конрадов. – Закономерное изменение тонкой структуры статистических распределений как следствие космофизических причин // *Успехи Физических наук* – 2000. – Т. 170, № 2. – С. 214-218.
4. Т.А. Зенченко, А.А. Конрадов, К.И. Зенченко – Макроскопические флуктуации: о периодичности проявления «эффекта ближней зоны» // *Биофизика.* - 200. - Т. 48, № 6. – С. 1132-1136.
5. Б.М. Владимирский, В.Я. Нарманский, Н.А. Темуриянц. – Космические ритмы: в магнитосфере-ионосфере, в атмосфере, в среде обитания; в биосфере-ноосфере, в земной коре. Симферополь, 1994 г., – 173 с.
6. Рожков В.С. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций (с гидрометеорологическими примерами). Книга 1.– СПб.: Гидрометеониздат, 2001.– С. 53–81
7. О.А. Troshichev. – Response of the PC index to the wind influence and it's availability for nowcasting of storm and substorm activity // *European Geophysical Society, Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, 00166*
8. Л.А. Блюменфельд, Т.А. Зенченко. Квантовые переходы между состояниями и космофизические флуктуации // *Биофизика.* – 2001. – Т. 46, №. . – С. 859-861.
9. А.А. Кириллов, К.И. Зенченко. О возможности нарушения статистики Пуассона в процессах типа радиоактивного распада // *Биофизика.*- 2001.- Т. 46, вып.5 -. С. 841-849.

Поступила в редакцию 10.11.2004 г.