

УДК 577.1

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ

Степанюк И.А.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время резко усилился интерес к экологической роли космогеофизических факторов (КГФ), связанных преимущественно с солнечной активностью (СА). Исследования, как правило, проводятся путем поиска статистических связей между реакциями биологических систем (БС), либо их физико-химических аналогов (ФХС), с характеристиками КГФ либо напрямую с СА. При этом обычно достаточным доказательством наличия эффекта воздействия является совпадение характерных выделенных периодов в спектрах БС либо ФХС с соответствующими периодами КГФ (условно говоря – «космическими ритмами»).

При этом появление каких-либо «чужих» периодов в спектрах реакций расценивается обычно как неучет дополнительно действующих физических факторов.

Действительно, схема типичного спектрального анализа включает в обязательном порядке вначале выявление характерных периодов в автоспектрах (с соответствующими фильтрациями «слева» и справа», с осреднениями для учета искажений «слева» и справа», и т.д.). После этого возможно проведение кросс-спектрального анализа с получением функций когерентности, значения которых имеют смысл лишь на совпадающих периодах в автоспектрах.

Однако при исследованиях и анализе результатов существует ряд специфических особенностей, отсутствие внимания к которым способно порождать артефакты. Особенно это касается «чужих» периодов.

При рассмотрении биологических и физико-химических систем как некоторых «черных ящиков» с сигналом на входе и сигналом на выходе необходим учет передаточных функций. В общем случае передаточная функция является комплексной. Из нее выделяется амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазово-частотная характеристика (ФЧХ). В свою очередь из АЧХ может быть выделена (естественно, не напрямую) функция передачи сигнала в статическом режиме – статическая функция связи (СФС) и, соответственно, в динамическом режиме – динамическая функция связи (ДФС).

Обычно в проводящихся экспериментах СФС *a priori* рассматривается как линейная. Однако ряд данных последних лет все больше свидетельствует о ее нелинейности, а часто даже – о ее немонотонности («амплитудные окна»).

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ

Динамические свойства (ДФС) в экспериментах также практически учитываются. Тем более, нелинейные динамические свойства.

Отдельной проблемой является неучет условий выполнения экспериментов. Естественно, что можно согласиться с уже опубликованной точкой зрения [1], что все проведенные эксперименты в какой-то мере являются «плохими». Но, кроме высказанных этими авторами аргументов, существует еще одна методическая особенность экспериментов, которая, видимо, вообще не рассматривалась ранее. Она состоит в пренебрежении правилами выбора дискретности наблюдений за реакциями БС(ФХС).

Из-за отмеченных неучитываемых особенностей возможно появление ложных («иллюзорных») периодов в спектрах и кросс-спектрах, а также больших погрешностей в определении связей между реакциями и действующими факторами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе в первую очередь оценивается опасность формирования погрешностей и артефактов за счет нелинейности. Рассмотрение проводится теоретически с использованием несложного математического аппарата, при этом также используются ссылки на экспериментальные данные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценки влияния нелинейности СФС.

При наличии суммы постоянного и квазипериодического факторов на входе системы, представляемой как «черный ящик» (рис. 1) с нелинейной СФС в виде

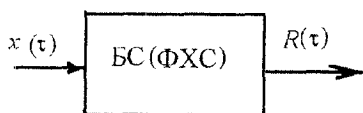


Рис.1 Условная схема системы

$$R = R(0) \left[1 + \alpha x + \beta x^2 \right], \quad (1)$$

где α и β – коэффициенты,

в реакции R (выходной сигнал) будут появляться специфические искажения, содержащие «прибавки» к типичной реакции на постоянный сигнал, пропорциональные квадрату амплитуды переменной части

входного сигнала (статическая погрешность Δ_{oc} , см. рис.2). Кроме того, типичная реакция на переменный сигнал становится зависящей от интенсивности постоянной части входного сигнала. В-третьих, появляется ложная квазипериодическая реакция («чистый» артефакт) на второй гармонике переменного входного сигнала. В математической форме это выглядит следующим образом:

$$R = R(0) \left[1 + (\alpha x_1 + \beta x_1^2 + 0,5\beta x_m^2) + \right. \\ \left. + (\alpha x_m \sin \omega \tau + 2\beta x_1 x_m \sin \omega \tau) - (0,5\beta x_m^2 \cos 2\omega \tau) \right], \quad (2)$$

где x_1 – постоянная составляющая входного фактора, x_m – амплитуда периодической составляющей входного фактора.

Пример искажений показан на рис. 2.

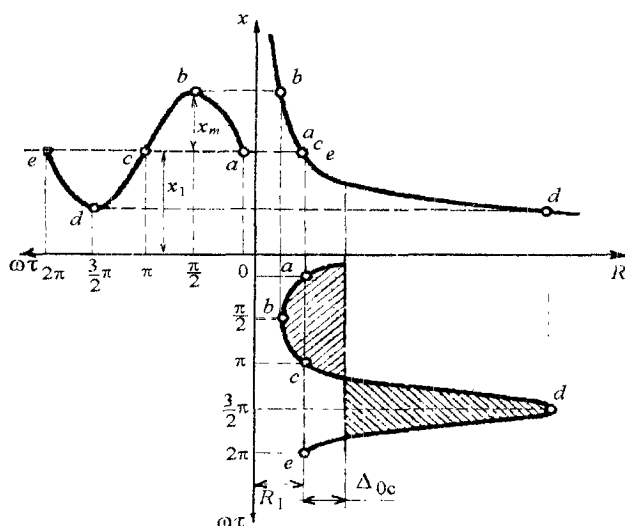


Рис.2. Искажения реакций при сочетании постоянного и переменного факторов в условиях нелинейной СФС

При более сложной структуре переменной части входного сигнала (две гармоники) «чистые» артефакты появляются на обеих вторых гармониках, а также на суммарных и разностных частотах.

Отдельный интерес представляют ситуации, когда воздействующий сигнал является амплитудно-модулированным. В этом случае нелинейность СФС приводит к частичному детектированию и, соответственно, к появлению в спектральном составе реакций частот амплитудной модуляции и их гармоник (также «чистый» артефакт).

Рассмотренные сочетания не являются умоглядными. Оценки влияния геомагнитных возмущений (переменная часть сигнала) на биологические и физико-химические системы производятся при существовании магнитного поля Земли (постоянная часть сигнала). Причем, в некоторых экспериментах делаются попытки частичной либо полной компенсации МПЗ (см. например сборник [2]).

Обычная (монотонная) нелинейность СФС представляется весьма распространенной. Немонотонные нелинейности более гипотетичны. Однако, существование «амплитудных окон» может быть обусловлено именно ими, что является некоторым косвенным подтверждением. При этом несомненно, что немонотонность СФС и обусловленные ею «амплитудные окна» никак не могут являться артефактами (уж «что есть, то есть»), но при немонотонности обязательна обычная нелинейность на отдельных участках, а это, в свою очередь, при ее неучете, приводит к эффектам, рассмотренным выше.

Оценки влияния динамических свойств БС(ФХС) на получаемые результаты.

При линейности динамических свойств БС(ФХС), т.е. когда они описываются линейными дифференциальными уравнениями 1-го, 2-го или высших порядков, также возможны неожиданности, в том числе – появление условий квазирезонанса. В частности, если ДФС системы описывается уравнением второго порядка:

$$\tau_{e2}^2 \frac{d^2 R(\tau)}{d\tau^2} + \tau_{e1} \frac{dR(\tau)}{d\tau} + R(\tau) = X(\tau), \quad (3)$$

то для формирования условий квазирезонанса достаточно, чтобы константа времени при второй производной существенно превышала константу при первой производной. Подобные ситуации также не являются умоузорительными. В частности, в наших исследованиях по влиянию ГМВ на инфекционные заболевания желудочно-кишечного тракта [3] мы уже пришли к необходимости оценки организма как системы второго порядка, включающей, во-первых, инерционность изменчивости форм энтеробактерий и, во-вторых, инерционность иммунной системы.

Нелинейность динамических свойств вносит свои особенности. Результаты экспериментов часто это демонстрируют. Обычный, т.е. наиболее простой, вариант нелинейности ДФС появляется, когда константа времени реакции на возрастание действующего фактора отличается от константы на его падение. Общих решений здесь обычно не существует. На сравнительно простых примерах можно показать, как при сочетании переменного и квазипостоянного входных сигналов появляется «прибавка» к квазипостоянному сигналу, зависящая от периода переменной части и соотношения констант времени. Это показано, например, в нашей работе [4].

Если переменная часть сигнала является частотно-модулированной, то за счет нелинейности ДФС обеспечивается детектирование этой части и формируется «чистый» артефакт – появление в спектральном составе реакций периода *частотной* модуляции. Этим роль нелинейности ДФС отличается от описанной выше роли СФС, где производится выделение *амплитудной* модуляции. Пример эффекта детектирования частотно-модулированных факторов показан на рис.3.

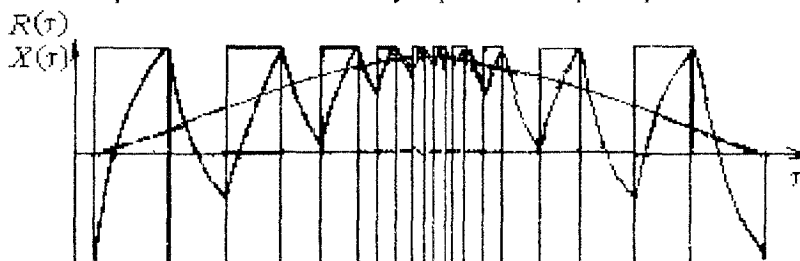


Рис. 3. Реакция БС либо ФХС с нелинейными динамическими свойствами на воздействие переменного частотно-модулированного фактора

Здесь все же следует отметить, что если нелинейности свойственны собственно воспринимающей системе и промежуточные звенья при этом отсутствуют (прямые эксперименты по воздействию), то эффекты, обусловленные нелинейностями, строго говоря, не являются артефактами – уж «что есть, то есть». Но в таких случаях, выявив несоответствие спектрального состава реакций спектральному составу воздействующего физического фактора, не надо сразу же предполагать наличие *неучтенного в эксперименте дополнительного внешнего фактора*. Этот дополнительный фактор может просто-напросто отсутствовать, а искажения спектрального состава будут связаны с рассматриваемыми здесь эффектами.

Влияние условий проведения экспериментов.

Отдельной проблемой является неучет условий выполнения экспериментов. Здесь существует методическая особенность, которая, видимо, вообще не рассматривалась ранее.

При исследованиях естественных природных процессов с неограниченным спектром часто проявляется эффект иллюзии дискретизации (эффект «перепутывания частот»). Дискретность при наблюдениях обычно задается волевым приемом или в соответствии с возможностями. В таком случае условной граничной частотой при спектральном анализе результатов является $(2\Delta\tau)^{-1}$, где $\Delta\tau$ – дискретность. Однако колебательные явления за пределами этой частоты из изучаемого процесса никуда не исчезают. Их энергия переносится в низкочастотную область, либо увеличивая общую «зашумленность», либо формируя ложные (иллюзорные) моды в спектре.

Демонстрационный пример формирования иллюзии дискретизации показан на рис.4.

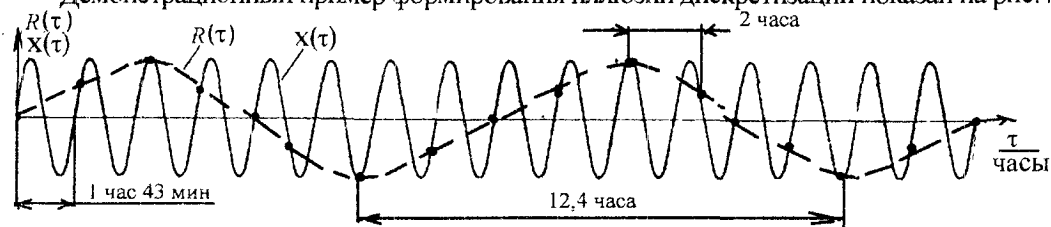


Рис.4. Формирование эффекта «иллюзии дискретизации» за счет несоответствия дискретности наблюдений и периода действующего переменного фактора

В этом примере период действующего фактора $X(\tau)$ принят равным 103 мин (вариант солнечных осцилляций), а наблюдения реакций проводятся через 2 часа. Сглаженная кривая этих наблюдений (прерывистая) показывает наглядную периодическую реакцию $R(\tau)$ с периодом 12,4 часа. При анализе она, естественно, воспринимается как реакция системы на воздействие Луны (12,4 часа – полусуточный лунный период).

Рассматривая общие закономерности такого эффекта как перенос на некоторую частоту f энергии колебаний на частотах $(2kf_k \pm f)$, где $f_k = (2\Delta\tau)^{-1}$ а $k = 1,2,3\dots$ и т.д., мы, к сожалению, видим отсутствие хоть каких-либо возможностей корректного учета искажений. Ведь у нас нет изначальной информации о характере спектра на частотах выше $(2\Delta\tau)^{-1}$. Это приводит к выводу, что для преимущественного большинства задач в области влияния космогеофизических факторов на земные процессы необходимы хотя бы уникальные учащенные наблюдения для оценки характера спектров в высокочастотной области.

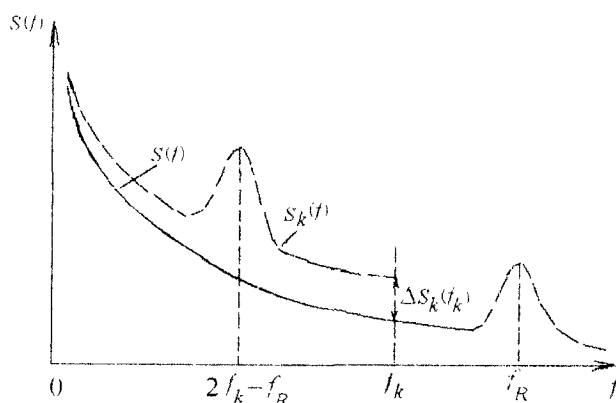


Рис.5. Пример переноса энергии из высокочастотной области в низкочастотную за счет дискретизации

Пример такого переноса при спектральном анализе данных показан на рис.5. Здесь в реальном спектре $S(f)$ присутствует максимум на частоте f_R за пределами частоты $f_k = (2\Delta\tau)^{-1}$. Но из-за рассмотренного эффекта он появляется в вычисленном спектре уже на частоте $(2f_k - f_R)$.

Рассмотренные особенности, как и предыдущие, не являются умоузырительными. Характерный

пример, где возможно проявление иллюзии дискретизации, это многосуточный мониторинг (один раз в сутки) каких-либо характеристик состояния организма человека, когда при этом известно, что для человека характерны *внутрисуточные* ритмы активности.

ВЫВОДЫ

Рассмотренные здесь особенности не являются чем-то принципиально новым. В электротехнике («линейные и нелинейные электрические цепи», например [5,6]), в информационно-измерительной технике («метрологические особенности измерений») и др. эти особенности в том либо ином виде оцениваются. В том числе – в работах автора [7,8]. Однако, применительно к биофизическим задачам (по известным автору литературным данным) подобное рассмотрение ранее не производилось. А оно представляется чрезвычайно важным.

Значительно более подробно весь этот класс задач проанализирован в монографии автора [9], куда дополнительно включен также раздел о динамических свойствах сложных биологических систем (например «муж-жена-ребенок»), подвергаемых воздействию внешних факторов.

Список литературы

1. Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу.– М.: Изд-во МНЭНУ, 2000.– 374 с.
2. Космос и биосфера. Тезисы докладов Межд. Крымской конференции.– Партениг, Крым, Украина 28.09–4.10.2003г.: Крымский научный центр НАН Украины и МОН Украины, 2003.– 258с.
3. Степанюк И.А. и др. Влияние космогеофизических факторов на инфекционные заболевания желудочно-кишечного тракта // Материалы итоговой сессии ученого совета РГГМУ. Часть 2. Секции: океанологии, экологии и физики природной среды. – СПб., Изд-во РГГМУ, 2004.– С.128–129.
4. Степанюк И.А. Динамические свойства биообъектов при воздействии внешними факторами и подходы к созданию критериев подобия // Космос и биосфера. Тезисы докладов Межд. Крымской

Степанюк И.А.

- конференции.– Паренит, Крым, Украина 28.09– 4.10.2003г.: Крымский научный центр НАН Украины и МОН Украины, 2003.–С. 28–29.
5. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи.– Петрозаводск: Высшая школа, 1964. – 430 с.
 6. Бессонов Л.А. Линейные электрические цепи.– М.: Высшая школа, 1974.– 316 с.
 7. Степанюк И.А. Океанологические измерительные преобразователи.– Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 272 с.
 8. Степанюк И.А. Информационно-измерительные системы в океанологии.–СПб.: Изд. РГГМУ, 1998. – 90 с.
 9. Степанюк И.А. Особенности реакций биологических и физико-химических систем на внешние факторы. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2004.– 97 с.

Поступила в редакцию 08.12.2004 г.