

ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА И СОЛНЦЕ, КАК НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ОТБОР И УПРАВЛЕНИЕ

М.В. Рагульская*, В.В. Пипин**

*Институт земного магнетизма и распространения радиоволн РАН, Москва

**Институт физики земли СО РАН, Иркутск

e-mail: ramary2000@yahoo.com

"Все счастливые семьи похожи друг на друга, каждая несчастливая семья несчастлива по-своему"
Л.Н.Толстой, "Анна Каренина".

1. Системный анализ и общие свойства живых систем, как нелинейных динамических систем. Поиск новых управляющих параметров путем статистического многофакторного анализа и математического моделирования исходного временного ряда динамических переменных является распространенным методом исследования влияния факторов внешней среды на организм человека и популяцию в целом. У этого метода имеется ряд существенных ограничений. Во-первых, выявленные корреляционные связи между изучаемыми явлениями не являются гарантией существования реальной физической связи, т. к. «после этого не значит в следствие этого». Во-вторых, сложные динамические системы, балансирующие на границе порядка и хаоса, способны демонстрировать опережающую подстройку под внешнее воздействие, базирующуюся на предыдущем опыте, если совокупность изменения внешних факторов с большой долей вероятности проявляет тенденцию к возникновению неблагоприятного события в будущем. Поэтому с позиций системного анализа общей задачей подобных исследований правильнее было бы считать достоверную идентификацию принадлежности исследуемой системы к определенному, уже изученному ранее, классу систем, возможно по небольшому количеству наблюдаемых признаков. После проведения достоверной идентификации в рамках системного анализа постулируется, что изучаемая система обладает не только уже выявленными экспериментально признаками, но и ВСЕМИ признаками и свойствами систем этого класса. Это мощное утверждение позволяет описывать исследуемую систему математическими моделями, разработанными ранее в любых других областях науки при описания систем этого класса, а также позволяет проводить построение прогноза динамического поведения системы в будущем и определять направление дальнейших исследований имеющихся, но еще экспериментально не открытых свойств изучаемой системы.

Системный анализ весьма разрозненных в литературе экспериментальных гелиобиологических эффектов свидетельствует о принадлежности организма человека, как единой системы, к классу открытых нелинейных динамических систем со всеми присущими этому классу систем свойствами. В частности, для этих систем характерно:

- наличие амплитудно–частотных окон реагирования,
- организация нескольких уровней состояния системы с различной и переменной вероятностью нахождения в каждом из состояний,
- существование эффектов насыщения и порогового отклика системы,
- наличие «петли гистерезиса» при возвращении системы из возмущенного в базовое состояние,
- смена хаотического и упорядоченного режимов функционирования,
- а также реализация управляющего отклика системы не только через различные общесистемные резонансы, но и через процессы переструктурирования (самоорганизации) внутри самой системы.

Разумеется, в отдельных экспериментах фиксируется не вся совокупность наблюдаемых явлений, а максимум 1-2 из них. Однако обнаружение, например, только лишь амплитудно-частотных окон уже однозначно свидетельствует о нелинейности системы и позволяет прогнозировать наличие у нее такого свойства, как существование порога генерации отклика на внешнее воздействие и эффектов насыщения. Дело в том, что в соответствии с основными принципами системного анализа можно также сформулировать, что будучи идентифицированными, как определенный класс динамических систем, биологические системы подчиняются и всем ограничениям, наложенным на соответствующий класс систем. Т.е. демонстрируют строго определенный набор программ реагирования на изменения внешних и внутренних параметров вне зависимости от причин, вызывающих эти изменения.

Более того, согласно тому же системному анализу, общие сценарии устойчивости, реагирования и управления должны быть характерны не только для различных живых систем, математически описываемых общими нелинейными уравнениями. Но и для одинаково идентифицированных в рамках одного и того же класса живых и неживых систем. Эта очень логичная мысль хорошо воспринимается, пока речь идет об абстрактном понятии «система». Однако пытливых ученых так и тянет проверить, насколько в реальности соответствует действительности тезис, так красиво изложенный в абстрактной теории познания, если применить его к таким совершенно разным по размерам и составляющим частям объектам, как огромный плазменный шар - «СОЛНЦЕ» и маленький кусочек живой плоти – «сердце человека»? Давайте посмотрим вместе.

2. Сердце человека и Солнце, как нелинейные динамические системы.

Несмотря на внешние существенные различия, и Солнца и у сердца человека есть два принципиально схожих свойства: 1. Обе объекта в первом приближении можно представить магнитным диполем. 2. Оба демонстрируют сочетание выраженной квазипериодичности функционирования (11-летний цикл у Солнца и околосекундный ритм у сердца) с наличием хаотической компоненты. Каким образом можно математически описать такие нелинейные системы?

Сердце. Рассмотрим адаптационные режимы генерации и устойчивости сердца, как нелинейного динамического точечного источника. Авторами данного доклада предложено для максимально грубого описания процессов генерации сигнала и выявления самых общих свойств исследуемой биосистемы, ввести всего два управляющих параметра противоположной направленности:

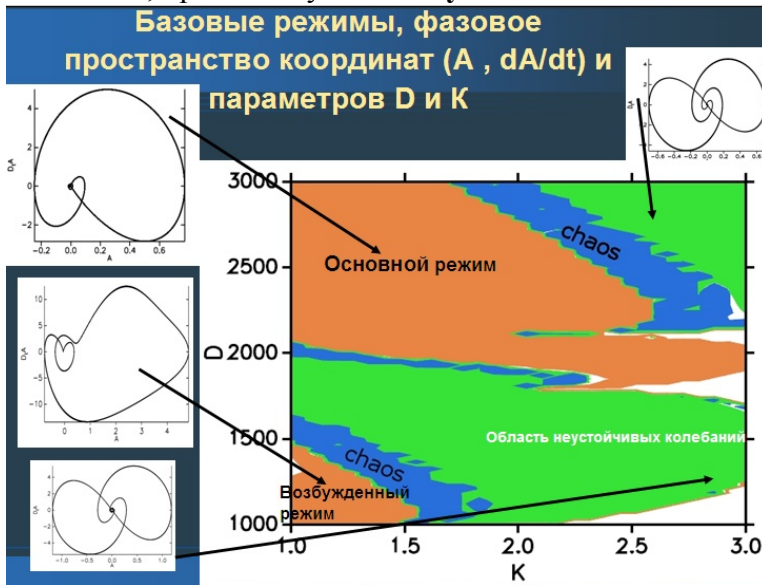
- **D**, пропорциональный мощности генерации импульса и отвечающий за силы, поддерживающие генерацию (в реальности связанный, например, с увеличением мощности сердечных сокращений или увеличением скорости кровотока);

- **K**, пропорциональный рассеянию мощности на процессах диффузии и описывающий обобщенные силы, противодействующие процессам генерации (например, увеличение проводимости сердечной мышцы в результате деструктивных изменений или повышение свертываемости крови).

В качестве модельной динамической системы использовалась следующая нелинейная модель параметрической генерации сердечных сокращений:

$$\begin{aligned} \partial_t B &= D \left(\frac{1}{2} \sin^2(t) - \frac{4}{5} \right) A - k_1 B + \xi \sin(\omega t), \\ \partial_t A &= (1 - H) \sin^2(t) B - k_1 A - A^3, \\ \partial_t H &= -k_2 H - k_3 (1 + H) A^2, \end{aligned} \tag{1}$$

Первые два уравнения описывают изменение амплитуды сигнала и ее первой производной, $\xi \sin(\omega t)$ - моделирует периодическое внешнее воздействие. Индексы 1,2,3 при параметре K отвечают за различные типы диффузии с различными характерными временами. За счет заданной нелинейности (слагаемое A^3) и при заданных параметрах мощности D и диффузионных потерь k_1 , колебания системы всегда выходят в режим насыщения. Однако при увеличении мощности генератора амплитуда колебаний в установившемся режиме также растет. Поэтому мы ввели еще одну переменную H , для более тонкой подстройки системы под нагрузку (т.е. последнее уравнение можно использовать при создании систем управления). Решение уравнений для различных значений D и k_1 при фиксированных k_2 и k_3 , позволило построить следующую диаграмму состояний, приведенную на **Рисунке 1**.



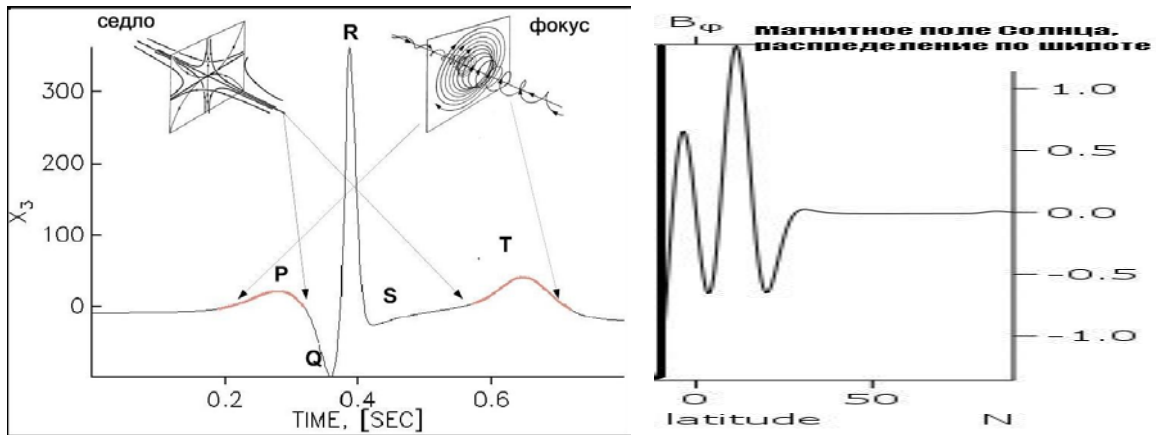
Также аналитическое решение системы (1) позволило выявить существование нескольких устойчивых режимов генерации. Их фазовые портреты совпадают с наблюдаемыми в эксперименте типами и разделены между собой областями хаотических или неустойчивых решений. Таким образом, теоретическое решение системы (1) естественным образом постулирует сосуществование нескольких режимов генерации сердца, которое и наблюдаются в

реальных медицинских данных, а также срыв системы в область хаотических фибрилляций при определенных неблагоприятных сочетаниях параметров. Другой характерной особенностью решений системы (2) является наличие **порога генерации** по управляющим параметрам D и k_1 , причем как снизу, так и сверху.

Солнце. В сферической системе координат эволюция крупномасштабного осесимметричного магнитного поля Солнца $\langle \mathbf{B} \rangle = b \mathbf{e}_\phi + \nabla \times \left(\frac{a \mathbf{e}_\phi}{r \sin(\theta)} \right)$ (где \mathbf{e}_ϕ - единичный азимутальный вектор, r -радиус, θ - полярный угол) в турбулентной среде с дифференциальным вращением $-\mathbf{V} = \mathbf{e}_\phi r \sin(\theta) \Omega(r, \theta)$, описывается уравнениями:

$$\begin{aligned} \frac{\partial b}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial(\Omega, a)}{\partial(r, \theta)} + \frac{\eta}{r} \left(\frac{\partial^2 r b}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{\sin(\theta)} \frac{\partial \sin(\theta) b}{\partial \theta} \right) \right) \\ \frac{\partial a}{\partial t} &= \eta \left(\frac{\partial^2 a}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{\sin(\theta)} \frac{\partial \sin(\theta) a}{\partial \theta} \right) \right) \\ &+ \hat{\alpha} r \sin(\theta) \cos(\theta) b + \hat{\Omega} r \sin(\theta) \left(\cos(\theta) \frac{\partial b}{\partial r} - \frac{\sin(\theta)}{r} \frac{\partial b}{\partial \theta} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

Посмотрим на **Рисунке 2**, как графически выглядят решения систем (1) и (2), т.е. построим изменение сигнала сердца во времени и распределение магнитного поля Солнца по широте:



При замене пространственных переменных на переменные по времени оба графика демонстрируют схожий топологический профиль. Какие же это замены?

$$\text{При замене } \frac{\partial \tilde{b}}{\partial t} - \tilde{\eta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{\sin(\theta)} \frac{\partial \sin(\theta) \tilde{b}}{\partial \theta} \right) \rightarrow -k_1 b; \quad \frac{\partial \tilde{a}}{\partial t} - \eta \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{1}{\sin(\theta)} \frac{\partial \sin(\theta) \tilde{a}}{\partial \theta} \right) \rightarrow -k_1 a; \\ \theta \rightarrow t$$

системы (1) и (2), а также реализуемые ими программы устойчивости и функционирования практически совпадают, что доказывает правомерность использования методологии системного анализа для таких совершенно разных физических объектов, как Солнце и сердце человека. Более того, проведенный анализ показал, что устойчивость обеих систем обеспечивается именно сочетанием наличия упорядоченной и хаотической компоненты генерации.

Случайность ли это? По-видимому, нет. Эволюционная адаптация как живых, так и неживых систем, ограничена небольшим набором фиксированных физических законов нашей Вселенной. Поэтому в процессе эволюции любой системы при оптимизации затрат энергоресурсов с одновременным обеспечением устойчивости и возможности динамической подстройки выигрывают похожие программы поведения. Поэтому для живых систем именно программа поведения здорового организма является оптимально стандартизированной в процессе эволюционной адаптации. Любая болезнь есть индивидуальное отклонение от нормы, которое в конечном итоге приводит к отбраковке нежизнеспособных членов популяции. Для устойчивого функционирования звезд также существует всего несколько программ организации и поведения, одна из которых и реализуется нашим Солнцем. Не удивительно, что в длительном процессе адаптации живых систем к космофизическим факторам в результате эволюции выжили именно те особи, принципы функционирования и соотношения упорядоченности и хаотичности которых совпадают с принципами функционирования основной дающей жизнь звезды. Именно такие системы обладают максимальными возможностями синхронизации. В этом контексте можно только повторить Л. Н. Толстого: *"Все счастливые семьи похожи друг на друга, каждая несчастливая семья несчастлива по-своему"*, и пожелать всем читателям быть «счастливыми», т.е. быть эволюционно оптимизированными и не сломанными организмами, и жить *«под счастливой звездой»*.

Литература

1. Пипин В.В., Рагульская М.В. «Управляющая роль шумов в обеспечении устойчивости функционирования сердечно-сосудистой системы человека» // Системы поддержки принятия решений, Киев, июнь 2008, С. 201-205.

2. Obridko V.N., Ragulskaia M.V., Pipin V.V., Vishnevskiy V.V., "The dynamical properties of the human ECG in the light of tele-communicational helio-medical monitoring ("Heliomed")" // Luxemburg, 1-4 April, 2009.