

О механизмах взаимодействия модулированных электромагнитных полей с живой материей

А.С. Дмитриев¹, Е.А. Галкина², В.Г. Грязнов², А.И. Рыжов¹, И.Ф. Турканов²

¹ *Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, г. Москва, ул. Моховая 11-7.*

E-mail: chaos@cplire.ru

² *АО «Концерн Гранит»*

119019, г. Москва, Гоголевский бул., д. 31, стр. 2,

E-mail: vgg_ngg@rambler.ru

Доклад посвящен проблеме взаимодействия модулированных электромагнитных полей с живыми биологическими объектами. Воздействие в этом случае осуществляется с помощью низкочастотных колебаний, возникающих при демодуляции падающего на живой объект излучения. Сам факт возможности эффективного воздействия низкочастотными электрическими колебаниями (0,1 - 1000 Гц), хорошо известен и используется в биорезонансной медицине. Обсуждаемый в докладе механизм полностью соответствует ряду представленных в литературе результатов по эффектам воздействия модулированного излучения на человека и его подсистемы.

Ключевые слова: модулированное электромагнитное поле, живая материя, демодуляция

On the interaction of modulated electromagnetic fields with living matter

A.S. Dmitriev¹, E.A. Galkina², V.G. Gryaznov², A.I. Ryzhov¹, I.F. Turkanov

¹ *Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS.*

² *JSC "Concern Granit".*

The report is devoted to the problem of interaction of modulated electromagnetic fields with living biological objects. The impact in this case is carried out using low-frequency oscillations that occur during demodulation of radiation incident on a living object. The very fact of the possibility of effective exposure to low-frequency electrical vibrations (0.1 - 1000 Hz) is well known and is used in bioresonance medicine. The mechanism discussed in the report is fully consistent with a number of results presented in the literature on the effects of modulated radiation on humans and their subsystems.

Key words: modulated electromagnetic field, living matter, demodulation

*«Frustra fit per plura quod potest fieri per pauciora»
(«Излишне объяснять через многое то, что можно
через меньшее») - Лезвие Оккама*

Введение

История исследований в области воздействия электромагнитного излучения (электромагнитных полей) на биологические объекты началась практически одновременно с появлением радио и насчитывает к настоящему времени уже около 130 лет [1-8]. Не будет преувеличением сказать, литература по этому вопросу насчитывает не одну тысячу научно-исследовательских статей, а также других, относящихся к теме материалов. Однако говорить о понимании целостной картины воздействия/взаимодействия электромагнитных полей и живой материи пока не приходится. Некоторым исключением можно считать лишь ситуацию с воздействием

достаточно интенсивных полей, при которых происходит нагрев биологических структур либо в целом, либо локально, приводящий к обратимым или необратимым изменениям в этих структурах.

Наибольший же интерес представляют ситуации, когда воздействие/взаимодействие имеет значительно более низкие интенсивности и при этом фиксируются (в основном косвенными методами) некоторые, часто нетривиальные результаты такого воздействия/взаимодействия.

Проблема выяснения причин, приводящих к изменению «состояния» биологических объектов под воздействием электромагнитных полей сталкивается с целым рядом обстоятельств, отличающих экспериментальную деятельность в пограничной области «физика электромагнитных явлений – живые биологические системы» от классических задач электродинамики тем, что модели взаимодействия излучения с веществом, разработанные в классической электродинамике, могут применяться к «веществу» биологических живых систем в очень ограниченной степени, в основном на уровне представления усредненных линейных электродинамических характеристик «вещества» живых систем. Это позволяет делать некоторые оценки по проникновению/прохождению электромагнитных полей сквозь живые объекты, но совершенно ничего не дает для понимания взаимодействия этих полей со сложной структурой живых объектов и динамическими процессами в них.

Ключевым моментом для успеха в таких исследованиях является предварительное, может быть даже на качественном уровне, описание (пространственно-временных) свойств исследуемых объектов, которые могут меняться в процессе воздействия/взаимодействия. Наличие такого описания позволяет ввести количественные переменные и параметры, которые могут фиксироваться на уровне оперативных инструментальных измерений.

Еще одним фактором, который может быть существенным для взаимодействия электромагнитных полей и живой материи, является модуляция электромагнитных полей (стационарная, а возможно и более сложная). На этом факторе концентрируется внимание в данной работе. Как будет показано, наличие модуляции полей и ее вид может быть одним из основных универсальных механизмов взаимодействия между полем и живой материей.

Живые объекты и динамические системы

В докладе акцентируется внимание на живом организме, как объекте взаимодействия с электромагнитным полем, с точки зрения понимания живого организма как сложной иерархической пространственно-временной динамической системы. В силу своей иерархичности живой биологический объект может реагировать на электромагнитные излучения/поля как на уровне системы в целом, так и на уровне подсистем самых разных масштабов, вплоть до клеточных и молекулярных. И это будут взаимодействия, разные по частотному диапазону и механизмам.

Важно отметить, что данное утверждение хорошо согласуется с результатами исследований в области сложной нелинейной динамики (динамического хаоса) в понимании того, что человеческое тело (как типичный пример живого биологического объекта) представляет собой совершенный образец сложной динамической системы, который может рассматриваться, как пробный камень для оценки эффективности любого подхода к феномену сложности [9]. Из этой согласованности следует, что к рассматриваемой проблеме может быть применен подход нелинейной динамики, основанный на идее, что постижение глобальных свойств сложных систем возможно независимо от локальных деталей.

В частности, это потенциально дает возможность понять многие процессы и явления, связанные с болезненными состояниями, создавая и изучая очень простые математические модели, представляющие собой системы из нескольких неавтономных нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, моделирующих динамику биологических объектов при наличии внешнего воздействия модулированного излучения.

При этом физическая природа внешних колебаний (излучений) может быть очень разной: механические, прикладываемые сразу ко всему объекту или его части, акустические, электрические, электромагнитные, колебания магнитного поля, колебания интенсивности света в видимом диапазоне частот и т.д.

Физическая природа колебаний в самих живых организмах тоже разнообразна: химическая, электрическая, механическая, гидравлическая и др. При этом собственные колебательные процессы в том или ином виде взаимодействуют между собой, либо напрямую, либо через промежуточные стадии, связанные, например, с управляющей деятельностью мозга.

Важно отметить, что большинство наблюдаемых колебательных процессов в живых системах лежит в частотном диапазоне от долей герца до единиц килогерц. Это несколько сужает конструктивную область исследований и именно колебания в этой части частотного диапазона являются предметом рассмотрения.

Принципиальным вопросом является вопрос о механизмах взаимодействия внешних колебаний и собственных колебаний живого объекта.

Относительно многих физических типов внешних колебаний имеется значительный объем исследований и длительная история. Разнообразие физических типов колебаний в живых системах при безусловном их кооперативном взаимодействии было бы невозможно без существования в живых организмах механизмов трансформации одних физических типов колебаний в другие (а также, на сигнальном уровне, преобразования одних типов (форм) сигналов в другие). То же самое справедливо и для воздействия внешних по отношению к живому объекту колебательных процессов на колебательные системы живого объекта.

Но это требует соразмерности в области частот между внешними и внутренними колебаниями либо напрямую, либо путем некоторых преобразований воздействующих сигналов. Например, если внешнее воздействие осуществляется на частотах значительно превышающих характерные частоты колебательных процессов в самом живом биологическом объекте, то эффект воздействия, если таковой имеет место, может осуществляться, например, либо за счет изменения параметров одной или нескольких колебательных систем живого объекта - «параметрическое воздействие», либо, в случае если воздействующий высокочастотный сигнал был промодулирован низкочастотным (информационным) сигналом и выделен колебательной системой живого объекта, в результате демодуляции.

Гомеостаз

Для того чтобы характеризовать влияние внешних колебаний и переменных полей на состояние (динамику, колебания) живого объекта необходимо описать это состояние и, желательно, в терминах понятных с биологической точки зрения. Естественным кандидатом для такого описания такого состояния является гомеостаз [10].

В биологии гомеостаз - состояние устойчивых внутренних, физических и химических условий, поддерживаемых живыми системами. Это условие оптимального функционирования организма, включающее множество переменных, таких как температура тела и баланс жидкости, которые поддерживаются в определенных заранее заданных пределах (гомеостатический диапазон). Другие переменные включают рН

внеклеточной жидкости, концентрации ионов натрия, калия и кальция, а также уровень сахара в крови, и их необходимо регулировать, несмотря на изменения в окружающей среде, диете или уровне активности. Каждая из этих переменных контролируется одним или несколькими регуляторами, или гомеостатическими механизмами, которые вместе поддерживают жизнь.

Согласно идеям, заложенным У.Р. Эшби [11] и П.К. Анохиным [12], живые и другие сложные системы, для которых вводится понятие гомеостаза, рассматриваются как многоуровневые (многомасштабные, иерархические), многосвязные динамические системы. Такой взгляд немедленно приводит к необходимости использовать систему понятий, принятую в теории динамических систем. Но, прежде чем перейти к формулировке соответствующих положений, следует отметить, что понятие гомеостаза включает в себя не только сам организм, но и окружающую среду, которая взаимодействует с ним. Поэтому, когда мы говорим об описании гомеостаза в рамках теории динамических систем, под динамической системой понимается совокупная система, в которую входит как сам организм, так и окружающая среда.

В книге «Конструкция мозга» [11] Эшби фактически аксиоматически ввел понятия «машины», «динамической системы», переменных состояния, фазового пространства и поля, рассмотрение организации как машины (механистический подход), организации и среды, существенных переменных и т.д. Он также отмечал, что в системе определенной организации изменение состояния может быть обусловлено изменением величины параметра, а изменение величины параметра ведет к изменениям стабильности.

В переводе этого замечания на язык современной теории динамических систем с параметрами ситуацию можно представить так. Действующие лица: объект (организм), внешняя (окружающая) среда, взаимодействующая с объектом и вектор параметров.

Объект – динамическая система некоторой размерности, в биологическом варианте число переменных вплоть до бесконечности – $v(x)$, x – вектор переменных.

Внешняя среда – динамическая система, взаимодействующая с объектом и характеризуемая оператором эволюции $u(y)$, где y – вектор переменных внешней среды.

Вектор параметров – μ , характеризующий взаимодействие биологического объекта со стороны внешней среды.

Для того, чтобы конструктивно работать с биологическим объектом, как системой, необходимо выбрать совокупность существенных переменных, представляющих основные свойства объекта, в том числе отражающие свойства его гомеостаза.

Выбор существенных переменных

Подходы здесь могут быть самые разные и во время работы над книгой [11] их разработка находилась в зачаточном состоянии. Однако к настоящему времени имеется набор подходов и методов, позволяющих корректно и целенаправленно формировать для (биологического) объекта совокупность существенных переменных, число которых значительно меньше исходной совокупности. Среди них: параметры порядка Г. Хакена [13], теория катастроф [14], теория нормальных форм [15], реконструкция фазового пространства динамической системы по одной (нескольким) переменным методом запаздывания [16].

Предполагается, что поведение системы в целом описывается детерминированной динамической системой с подсистемами, относящимися организму и окружающей с вектором параметров μ . Исходно эта динамическая система может иметь очень высокую размерность, однако ее эффективная размерность (например, число параметров порядка, или размерность ее нормальной формы около положения равновесия, считается, что таковое также имеет место) значительно ниже исходной

размерности. При этом имеется притягивающее многообразие, которое и определяет эту размерность. В свою очередь, это притягивающее многообразие состоит из двух подмногообразий: на одном из них динамика крайне проста и сводится к притягиванию к неподвижной точке на этом многообразии (устойчивое многообразие, в принципе это может быть, узел, устойчивый фокус по нескольким парам переменных или их комбинация). Но кроме того, может существовать подмногообразием, на котором образуется более сложная динамика. Для этого, например, при трех параметрах порядка у неподвижной точки нужно иметь хотя бы одно неустойчивое направление с положительным значением собственным числа линеаризованной системы или пару комплексно сопряжённых собственных значений с положительными действительными частями.

Динамический гомеостаз

В классическом понимании гомеостаза с точки зрения теории динамических систем положение равновесия - устойчивый узел. Нигде даже не говорится о том, что в динамике присутствуют затухающие колебания, свидетельствующие о наличии у подмногообразий устойчивых фокусов.

А почему надо говорить о такой, достаточно сложной конструкции в фазовом пространстве? Не достаточно ли просто использовать определение гомеостаза, положения равновесия? Для целей данного доклада заведомо нет. И этому есть несколько причин:

- во-первых, в живых системах всегда присутствует динамика в виде одночастотных, многочастотных или более сложных колебаний и описание только статической составляющей будет давать неполное представление о процессах в организме в целом;
- во-вторых, рассмотрение только статических переменных серьезно сужает возможности в использовании оценки гомеостаза для оперативной диагностики состояния организма;
- в-третьих, как показывается в докладе, наличие динамической составляющей в наблюдении гомеостаза, как для здорового организм, так и при его нарушении при болезненных состояниях дает возможность сформировать внешние корректирующие воздействия, как на уровне изменения параметров системы, так и при прямом воздействии корректирующих колебаний.

По этим причинам для описания стационарного состояния организма, как колебательной системы, уместно использовать термин «динамический гомеостаз», позволяющий идентифицировать состояние организма, включая и динамическую составляющую стационарного состояния системы, и статическую часть гомеостата в традиционном смысле.

Биологический живой организм, как сложная иерархическая динамическая система

А почему, собственно, именно модулированное излучение может быть более эффективным с точки зрения влияния на процессы внутри живых организмов по сравнению с немодулированным?

Связано это с первую очередь с тем, что в живых организмах существует множество собственных автоколебательных процессов, и кроме того, в силу сложной динамической структуры, ее чувствительность к воздействующим на нее внешним колебательным процессам может иметь частотную зависимость.

Однако здесь есть ряд нюансов.

При рассмотрении вопросов воздействия электромагнитного излучения высоких, сверхвысоких и крайне высоких частот не очевидно, есть ли источники подобных

частот в живых организмах и, если есть, какова их природа? Тоже самое относится и к частотной избирательности элементов живой материи к различным узким диапазонам частот (например, в КВЧ диапазона). Исследованиям и дискуссиям по этим вопросам посвящено значительное число работ. Часто для правдоподобного объяснения имеющихся эффектов приходится прибегать к достаточно тонким физическим построениям, включая квантовые свойства биомолекул.

Но есть и другая сторона вопроса: в любой живой биологической системе присутствуют низкочастотные колебания, которые определяют жизненные процессы и без которых бессмысленно вообще говорить о живой материи. Любое животное дышит (колебательный процесс), имеет ритмически работающее сердце, пищеварительную систему, нейронную систему и т.д. И все они колеблются, взаимодействуя между собой и образуя единую иерархическую нелинейную динамическую систему. Изучение динамики систем живых организмов представляет собой широкую область исследований и характеризуется наличием не только экспериментальных, но и теоретических результатов, объясняющих наличие не только простых, но и сложных типов колебаний в биологических системах, включая динамический хаос. Диапазон частот собственных колебаний в живых организмах, как правило, лежит в пределах от долей герца до единиц килогерц.

Наличие множественных источников колебаний в живых системах позволяет говорить о наличии целого «оркестра», вообще говоря, скоординированных между собой осцилляций. Нарушение гармонии в этом оркестре может служить признаком выхода живой системы из стационарного здорового состояния и наступления патологической ситуации. Анализ более тонких аспектов таких изменений может быть использован для диагностики патологических состояний. На этом построена система диагностики, называемая биорезонансной [17]. Речь идет о методах резонанса и колебательно-волновой терапии, отцом которой считается Ф. Морель. Начало работ самого Мореля в этом направлении относятся к началу 60-х годов. Суть методов биорезонанса заключается в записи собственных колебаний организма, сопоставлении характера этих колебаний с соответствующими колебаниями в здоровом состоянии организма и использовании этого сравнения для коррекции колебательного процесса в организме путем воздействия колебаний, корректирующих патологию.

К биорезонансной диагностике имеются определенные претензии со стороны официальной медицины, но их не больше, чем к акупунктурной диагностике. По существу, некоторые варианты биорезонансной диагностики являются реинкарнацией акупунктурной диагностики на основе достижений современной радиоэлектроники.

По сути дела, «динамический гомеостаз», о котором идет речь, представляет собой идентификацию состояния живого объекта на основе свойств его аттрактора, который в общем случае характеризует совокупность колебательных процессов в объекте, позволяющих идентифицировать состояние организма, включая и статическую часть гомеостата в виде неподвижной точки, около которой развиваются колебательные процессы, и которая характеризует статическую часть гомеостата в традиционном смысле.

В теории нелинейных динамических систем разработаны экспериментально реализуемые методы восстановления топологической структуры аттракторов, что может быть применено и к динамическому гомеостазу. В соответствии с теоремой Такенса [16] такое восстановление в принципе возможно даже на основе снятия одной временной переменной о состоянии организма.

В качестве такой переменной видимо могут быть использованы пульсовые волны, а также переменные электрические потенциалы точек акупунктуры. Это заключение хорошо согласуется с данными по диагностике с использованием анализа пульса в

восточной медицине, где, как утверждается, опытный диагност способен различать по ощущениям до нескольких тысяч состояний организма. Высокими характеристиками по распознаванию различных состояний организма на основе анализа характеристик колебаний в живых организмах, судя по объявленным официальным характеристикам, обладают и современные аппараты биорезонансной диагностики типа MOREL, VICOM [17] и др.

Модуляция/демодуляция излучения

Считается правдоподобным, что эффективность воздействия повышается, если частота воздействия специально выбирается и, если используются сигналы со сложным спектром, или основной сигнал модулируется специальным образом.

Как можно объяснить эффективность модуляции?

Модуляция обычно производится сигналом, содержащим частоты от долей герц до десятков килогерц. Этот диапазон представляет собой совокупность частот, характерных для живого организма. Поэтому нахождение эффективно воздействующих, модулированных этими частотами сигналов интуитивно понятно: модулированный сигнал попадает в область живого объекта, в которой наблюдаются электромагнитные и механические колебания (и автоколебания) в определенных, достаточно низких диапазонах частот.

Осталось понять, как низкочастотная модуляция высокочастотных колебаний может быть выделена в живым организмом или его частями.

Здесь нужно ввести два правдоподобных предположения.

Первое из них относится к преобразованию колебаний различной физической природы друг в друга, имеющее место в живых организмах (электрохимические в механические, механические в электрические и электромагнитные, акустические в электрические и т.д.). наличие ряда таких преобразований известно. Например, электрокардиограмма отражает процесс преобразования части энергии механических колебаний сердца в электрические колебания, фиксируемые с помощью электрокардиографа. Спайки активности нейронов и химические процессы в межнейронной среде при усреднении приводят к электромагнитным колебаниям различных типов, которые фиксирует электроэнцефалограмма или магнитоэнцефалограмма.

Второе – к механизмам, с помощью которых низкочастотная (например, амплитудная) модуляция порождает соответствующие колебания низких частот различной физической природы в живой материи. Здесь уместно вспомнить, что живая материя в силу своих свойств (например наличия автоколебаний) представляет собой нелинейную систему. Простейшей же нелинейностью является квадратичная нелинейность. Поэтому эффекты, по меньшей мере квадратичного детектирования должны иметь место и приводить к появлению в системе низкочастотных колебаний, с частотами, соответствующими частотам модуляции.

Возможность коррекции ДГ за счет вариации параметров, внешнего воздействия и управления хаосом

Следующим вопросом после решения вопроса о диагностике состояния организма на основе анализа его колебательной активности, является вопрос о использовании получаемых результатов для лечения обнаруженных патологий, в первую очередь терапевтическими методами. Морель видимо был первым, кто поставил вопрос об использовании самих патологических компонентов колебаний для терапии обнаруженных заболеваний. Его идея была проста и интуитивно понятна даже для неспециалиста: давайте давить патогенную составляющую ее же инвертированной

копией. Конечно, в большинстве случаев такое решение работать не будет, но идея использования самих патологических колебаний для борьбы с болезнью достаточно плодотворна и используется в упомянутой выше аппаратуре.

Исследования разработки в области биорезонансной диагностики и терапии начались в середине 70 годов Морелем и его последователями и конкурентами. В научном плане они опирались существовавшие в то время представления и результаты теории колебаний. Речь в основном шла колебаниях и автоколебаниях в слабо нелинейных системах. Отсюда происходили подходы и рекомендации. С тех пор нелинейная динамика в целом и теория нелинейных колебаний в частности проделали громадный путь. И сейчас имеется глубокое понимание в вопросах принципов синхронизации многочастотных колебаний, условий поддержания этой синхронизации, причин разрушения регулярных колебаний и перехода к более сложным их формам, воздействия внешних сигналов на колебательные и автоколебательные системы. Разработаны методы однопараметрического, двух и много параметрического анализа, которые могут быть использованы для параметрического управления колебательными процессами. Развито специальное направление по управлению динамическим хаосом и сложными колебаниями в нелинейных динамических системах. Созданы методы и основанные на них программные комплексы, обеспечивающие восстановление топологии странных аттракторов во наблюдаемым временным реализациям и многое другое. Все это вместе взятое позволяет с оптимизмом смотреть на применение «биорезонансных», а, в современной трактовке «биодинамических» методов для терапии (или коррекции гомеостаза) во всяком случае на верхних уровнях.

Выводы

Взаимодействие живых биологических организмов, рассматриваемых как систем со сложной динамикой, происходит и может происходить с внешними колебательными процессами различной природы. Сами живые организмы на разных уровнях иерархии также насыщены колебательными и волновыми процессами, совокупность которых условно можно сопоставлять с биологическим понятием гомеостаза. Поскольку речь идет не о статических, а о динамических процессах, в докладе для этой комплексной характеристике используется термин *динамический гомеостаз*.

Электромагнитные колебания, поля и излучения входят в колебательную среду, в которой находятся или могут находиться живые организмы. И они также могут оказывать влияние на динамическое состояние живых систем, даже при достаточно низком уровне мощности воздействия. В докладе обсуждается механизм такого воздействия для модулированных электромагнитных полей и излучений. Учитывая тот факт, что многие наблюдаемые колебания различных подсистем живых объектов лежат в области низких частот (от долей герца до нескольких килогерц), выдвинуто предположение, что именно модулированные низкочастотными процессами электромагнитные колебания более высоких частот эффективно взаимодействуют с колебательными системами живых организмов. В процессе взаимодействия происходит демодуляция исходных колебаний и их преобразование в электрические или другие физические типы колебаний, свойственные внутренним процессам в самих живых организмах. В результате принципы воздействия модулированных электромагнитных полей и излучений являются такими же, как и у низкочастотных колебаний, воздействующих на живые системы (акустические, механические контактные электромагнитные и др.). Важной особенностью электромагнитных полей и излучений является их дальное действие, обеспечивающее возможность удаленного воздействия источника излучения на живые организмы.

Литература

1. Гурвич А. Г. Теория биологического поля. М.: Советская наука, 1944. 156 с.
2. Кажинский Б. Б. Биологическая радиосвязь. Киев: АН УССР, 1962. 168 с.
3. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
4. Гуляев Ю. В. Физические поля и излучения человека. Новые неинвазивные методы медицинской диагностики. М.: РБОФ «Знание» им. С. И. Вавилова, 2009. 28 с.
5. Девятков Н. Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты // УФН. 1973. Т. 110, No 7. С. 453–454. DOI: 10.3367/UFNr.0110.1973071.0453.
6. Бецкий О. В., Кислов В. В., Лебедева Н. Н. Миллиметровые волны и живые системы М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. 272 с.
7. Дмитриев А.С., Рыжов А.И. Взаимодействие электромагнитного излучения с биологическими объектами и социальными системами // *Известия вузов. «ПНД»*. 2021. Т. 29, № 4. С. 549-558.
8. Bunkin N.F., Bolotskova P.N., Bondarchuk E.V., Gryaznov V.G. et al. Stochastic Ultralow-Frequency Oscillations of the Luminescence Intensity from the Surface of a Polymer Membrane Swelling in Aqueous Salt Solutions. *Polymers*. 2022, V. 14, P. 688. <https://doi.org/10.3390/polym14040688>
9. Глик Д. ХАОС. Создание новой науки. М.: АСТ. 2021. 410 с.
10. Homeostasis. Wikipedia.
11. Эшби У.Р. Конструкция Мозга. М.: ИИЛ. 1962. 398 с.
12. Анохин П.К. Идеи и факты в разработке теории функциональных систем. *Психологический журнал*. 1984. Т. 5. С. 107-118.
13. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир. 1980. 404.
14. Арнольд В. И. Дополнительные главы теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука. 1978.
15. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Москва. 1980. 607 с.
16. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит. 2001. 295 с.
17. Hennecke J. Bioresonance: a new view of medicine. Scientific principles and practical experience. 2017. Books on Demand. www.bod.de. 182 p.