

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ КООПЕРАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО КВЧ-ВОЗДЕЙСТВИЯ И ТЕПЛОВЫХ ШУМОВ НА ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Первые биологические эксперименты были поставлены в 1965 г., как только появились перестраиваемые в широкой полосе частот генераторы миллиметровых волн (ЛОВ-О). В качестве биологических объектов для экспериментов были выбраны различные микроорганизмы и лабораторные животные (мышь, крысы). Первый опыт клинического применения миллиметровых волн относится к 1977 г. и использовался для лечения язвенных заболеваний желудка и 12-перстной кишки, а также некоторых заболеваний глаз. Первые клинические исследования особенностей взаимодействия ММ-волн с человеческим организмом были проведены в начале 80-х годов.

Повышенный интерес к воздействию КВЧ-излучения (крайне высокочастотного излучения) в биологии и медицине в первую очередь обусловлен тем, что миллиметровые волны (ММВ) малой (ниже гигиенической нормы) мощности оказались значимыми для биологических объектов. Был также зарегистрирован резонансный отклик и в некоторых органических соединениях. Со временем проявление КВЧ-эффекта была обнаружена и в простых химических соединениях, таких как вода и водные растворы.

Экспериментальные результаты, накопленные в области электромагнитобиологии, выделили в отдельную группу так называемые слабые (сверхслабые) внешние воздействия, что обусловило появление нового понятия «парадоксы слабых воздействий». Эффективное воздействие миллиметровых волн является частью общей проблемы воздействия слабых и сверхслабых электромагнитных полей на живые организмы. Сильные воздействия являются в сущности энергетическими воздействиями, при которых какой-либо биологический эффект достигается исключительно нагревом объекта, т.е. тепловым влиянием.

С другой стороны энергия слабых воздействий часто оказывается соизмерима с энергией собственных процессов жизнедеятельности биологического объекта. В некотором смысле слабые воздействия можно сравнивать с гомеопатическим эффектом лекарственных препаратов. С проблемой таких воздействий сталкиваются не только в области электромагнитобиологии, но и в различных областях химической физики. Таким образом, когда говорят о сверхслабых воздействиях, то, в отличие от энергетического (теплового), как правило, считают, что имеют дело с так называемым «информационным» характером воздействия.

Природа такого рода воздействия миллиметровых волн до сих пор не достаточно ясна. Это в первую очередь связано с отсутствием понимания механизма взаимодействия КВЧ-излучения с биологическим объектом.

Значение энергетического порога определяется уровнем мощности КВЧ-излучения, который не вызывает тепловых эффектов. Нетепловым общепринято считать воздействие миллиметровых волн, которое не приводит к нагреву облучаемой среды выше $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значение такого энергетического порога определяется величиной $P_{\text{пор}}=10\text{ мВт/см}^2$ [1]. Иногда удобно рассматривать порог чувствительности биологического объекта к КВЧ-воздействию, который определяется плотностью потока мощности $P_{\text{чувст}}=10\text{ мкВт/см}^2$. В то же время имеются данные о нечувствительности биологического объекта к воздействию при поверхностной плотности потока мощности более 10 мВт/см^2 .

Для многих биологических объектов характерно большое процентное содержание воды. С высокой поглощательной способностью воды электромагнитных волн миллиметрового диапазона связан ряд эффектов, играющих большую роль в биофизике, а также при объяснении механизмов взаимодействия миллиметровых волн с жидкими (водными) средами. Поглощение миллиметрового излучения молекулами воды приводит к специфическому для этого диапазона длин волн избирательному нерегулярному микронагреву водных сред, что обуславливает образование температурных градиентов как на поверхности, так и с глубиной. Даже при низком абсолютном значении падающего излучения вследствие больших тепловых градиентов возникает конвективное движение жидкости на границе раздела фаз.

В случае водных растворов различных биологических жидкостей необходимо также учитывать нерезонансное влияние электромагнитного излучения (ЭМИ) на конвективное движение жидкости. Экспериментально конвекция была зарегистрирована при пороговых значениях плотности потока

мощности порядка $0.5...1$ мВт/см², причем во всех случаях не удалось зафиксировать локальных изменений температуры растворов при чувствительности методов измерения не хуже 0.1 °С [2].

Терминологическая проблема, связанная с определением теплового и информационного КВЧ-воздействия широко, обсуждалась в конце 80-х – начале 90-х годов, и на то время нашла свое решение [1, 2]. С учетом полученных новых экспериментальных результатов [3-5], мы предлагаем рассмотреть эту проблему с синергетической точки зрения для низкоинтенсивных воздействий. Может ли сверхслабое КВЧ-воздействие носить исключительно тепловой (энергетический) характер? На наш взгляд может, если под тепловым воздействием понимать воздействие, некогерентная энергия которого используется для активации самоорганизационных процессов сложной иерархической структуры организма. В этом случае управляющая функция полностью принадлежит самоорганизационной структуре, а энергия воздействия выступает в роли своеобразного источника питания. Мы предлагаем назвать такое воздействие «синергетическим».

В свою очередь информационным можно считать воздействие, которое выполняет управленческую функцию, навязывая свою динамику организационной структуре. Принципиальное различие двух этих воздействий заключается в том, что первое лишь стимулирует собственные самоорганизационные процессы организма, в то время как второе осуществляет «сверхорганизационные» биологические функции, непосредственно регулируя процессы жизнедеятельности.

С учетом большого многообразия форм живых организмов, чувствительных к КВЧ-воздействию и обладающих только им присущими внутренними динамиками, а также принимая во внимание, что КВЧ-эффекты были зарегистрированы и в органических и неорганических растворах, информационный механизм кажется маловероятным.

На наш взгляд самоорганизационная проявленность эффекта КВЧ-воздействия заключается в микронагреве водных сред в области внешних границ их кластеров при рассеивании энергии воздействия на неоднородностях молекулярных структур. При этом водная среда становится биологически активной.

Особого внимания заслуживает проблема подпорогового воздействия КВЧ-излучения (где под порогом понимается уровень теплового воздействия) на биологические объекты. В работе [8] внимание уделяется реакции дрожжевых клеток на облучение миллиметровых волн низкой интенсивности. Наблюдения за дрожжевыми клетками, проведенные нами с помощью оптико-телевизионной аппаратуры, не показали реакции при воздействии в реальном масштабе времени. В связи с этим возникает проблема достоверной регистрации биологического эффекта при КВЧ-воздействии.

Несмотря на то, что литературные источники свидетельствуют о достоверно наблюдаемых лечебных результатах [6-10], по оценкам специалистов в практической медицине часто не удается добиться четкой проявленности биологического эффекта при КВЧ-воздействии. Это прежде всего можно связать с отсутствием наработанных методик КВЧ-терапии, так как все основные работы, описывающие лечебный эффект, датируются, начиная с 1995 года, а методологических работ по КВЧ-терапии за указанный срок почти не выходило [6, 10]. Другой, не менее важной причиной невысокой эффективности КВЧ-терапии на практике можно считать аппаратное несовершенство КВЧ-приборов, что непосредственно связано с отсутствием понимания механизма взаимодействия КВЧ-излучения с биологическими объектами.

На основе вышесказанного можно сделать вывод о том, что проблема КВЧ-терапии находится на стадии становления. В связи с этим авторы видят следующие пути решения проблемы развития КВЧ-терапии:

- выявление механизма взаимодействия КВЧ-излучения с биологическими объектами;
- разработка методик применения КВЧ-терапии при лечении конкретных заболеваний;
- оптимизация параметров электромагнитных волн миллиметрового диапазона и КВЧ-аппаратуры с целью повышения эффективности лечения и диагностики.

Существенно приблизиться к пониманию механизма взаимодействия ММ-волн с биологическими объектами помогли экспериментальные работы [3, 4]. В этих работах впервые удалось отделить объект воздействия от биологического объекта, что позволило произвести экспериментальные исследования, исключив субъективные факторы. Таким объектом оказалась вода, которая во многом определяет специфическую резонансную проявленность эффекта по частоте. Как показали дополнительные исследования, водные растворы и сам биологический объект имеют сходные резонансные спектры с дистиллированной водой.

При этом был выявлен целый ряд резонансных частот, отличных от ранее использованных в КВЧ-аппаратуре. Теми же авторами была предложена методика прецизионно-волновой терапии [11].

Однако практическое использование данного метода радиоспектроскопии значительно затруднено из-за высокой сложности организации эксперимента. Как свидетельствуют авторы [5], их метод оказался чрезвычайно труден даже в экспериментальном воспроизведении результатов другими исследователями.

Одним из условий проявленности биологического эффекта при реализации данного метода радиоспектроскопии является низкоинтенсивное КВЧ-воздействие и крайне низкий уровень мощности регистрируемого СВЧ-отклика, что требует обеспечения предельной чувствительности СВЧ-радиометра и значительного ослабления радиопомех.

Главной целью настоящего исследования является получение достоверной и наглядной информации о динамике поведения одноклеточных живых организмов под воздействием теплового и КВЧ-излучения.

В последние годы особым вниманием стали пользоваться методики комбинированного воздействия на биологический объект [6], где предполагается, что совместное действие КВЧ-излучения, постоянного или переменного магнитных и электрических полей, лазерного излучения видимого и инфракрасного диапазонов, что в разнообразных комбинациях может привести к усилению или ослаблению лечебного эффекта.

С этой точки зрения совместное воздействие лампы накаливания и КВЧ-генератора может рассматриваться как комбинированное воздействие на биологический объект.

Авторы настоящей статьи разрабатывают вопросы взаимодействия сильно зашумленных низкоинтенсивных детерминированных воздействий с нелинейными и неравновесными системами [12], какими являются и биологические объекты. При этом наибольший интерес вызывает проблема совместного, кооперативного воздействия низкоинтенсивного КВЧ-излучения и теплового шумового излучения на биологический объект.

В качестве исследуемого объекта были выбраны равноресничные инфузории *Paramecium caudatum*. Выбор инфузорий был обусловлен тем, что эти организмы, обитающие в воде и постоянно движущиеся в ней, часто приближаются к поверхности, где вода особенно активно поглощает КВЧ-излучение миллиметровых длин волн. Подбором определенного уровня воды в чашке Петри и длин волн можно достичь измеряемой реакции инфузорий на воздействие КВЧ во всем объеме жидкости. Было выдвинуто предположение, что реакция на воздействие КВЧ-излучения должна заключаться в изменении подвижности инфузорий при облучении ММВ по отношению к их подвижности в нормальных условиях (без КВЧ-воздействия).

Методика регистрации поведения инфузорий была следующей. В ходе наблюдений было замечено, что траектории движения инфузорий в объеме жидкости случайны, а их концентрация в разных частях объема в произвольный момент времени практически постоянна. Поэтому о степени их подвижности можно судить по частоте пересечения линии, проведенной на дне чашки Петри. В качестве источника излучения был использован генератор Г4-142, генерирующий колебания в миллиметровом диапазоне длин волн, мощность которых можно изменять. Передача КВЧ-излучения от генератора осуществлялась по диэлектрическому волноводу. Облучение культуры, помещенной в чашку Петри, производилась с помощью рупорной антенны. Исследование проводилось на фиксированной частоте

52 ГГц. Источником теплового воздействия служила лампа подсветки микроскопа, мощность которой существенно превышала КВЧ-излучение. Оптико-телевизионное наблюдение велось с помощью ПЗС-камеры (прибор с зарядовой связью), подключенной к компьютеру. Схема экспериментальной установки для наблюдения поведения инфузорий под воздействием КВЧ излучения приведена на рис. 1, где 1-генератор Г4-142; 2-диэлектрический волновод; 3-рупорная антенна; 4-чашка Петри с инфузориями; 5-ПЗС-камера; 6-персональный компьютер; 7-штатив; 8-штатив.

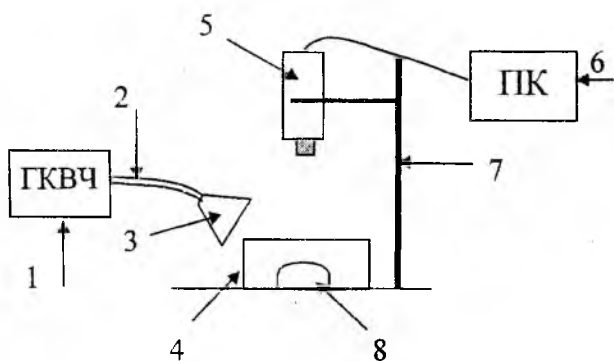


Рис. 1

В ходе опыта были получены временные зависимости частоты пересечения N . Частота пересечений N определялась как число инфузорий, пересекающих линию наблюдения в единицу времени t при различных плотностях потока мощности облучения. Объем среды, содержащей инфузории, а также их количество от опыта к опыту были одинаковы. Необходимым условием эксперимента явля-

ется смена групп одноклеточных организмов в среде облучения в последующих опытах. Графики временной зависимости интенсивности движения $N=f(t)$ (частоты пересечения линии) при различных уровнях мощности облучения приведен на рис. 2, где 1 – зависимость $N=f(t)$ без КВЧ-воздействия; 2 – зависимость $N=f(t)$ при КВЧ-воздействии с $P=100$ мкВт; 3 – зависимость $N=f(t)$ при КВЧ-воздействии с $P=1$ мкВт.

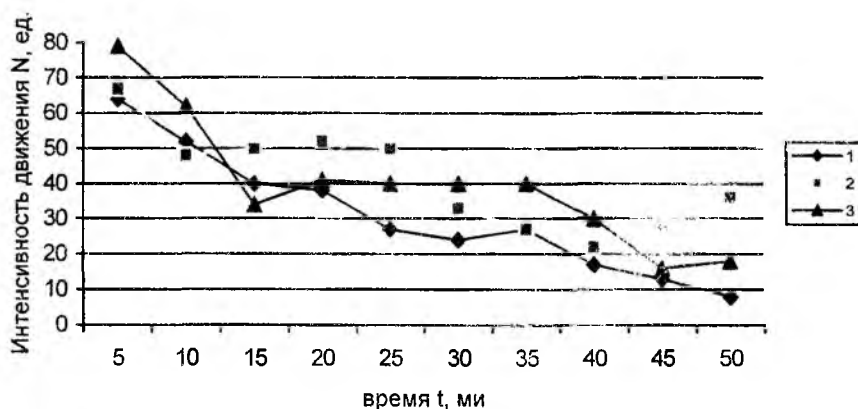


Рис. 2

В ходе опыта были получены результаты, суть которых сводится к следующему. Одноклеточные живые организмы реагируют не только на тепловое воздействие (лампы накаливания), но и на нетепловое КВЧ-воздействие различной интенсивности. Причем, в зависимости от интенсивности воздействия изменялся характер поведения одноклеточных организмов. Более четко указанная специфика видна на графиках трендовой зависимости, которые были построены на основе логарифмического закона аппроксимации и сглаживания. Графики трендовой зависимости интенсивности движения $N=f(t)$ при различных уровнях мощности облучения представлены на рис. 3, где 1 – трендовая зависимость $N=f(t)$ без КВЧ-воздействия; 2 – трендовая зависимость $N=f(t)$ при КВЧ-воздействии с $P=100$ мкВт; 3 – трендовая зависимость $N=f(t)$ при КВЧ-воздействии с $P=1$ мкВт.

Согласно трендовым зависимостям, представленным на рис. 3, видно, что тепловое шумоподобное излучение со временем приводило к угнетению двигательной активности одноклеточного организма, а КВЧ-излучение стимулировало подвижность инфузорий. КВЧ-излучение мощностью $P_{обл}=1$ мкВт оказывало стимулирующее действие уже на первых минутах эксперимента. Реакция на облучение мощностью 100 мкВт появлялась несколько позже, но имела более выраженный характер.

Следует отметить, что, согласно визуальному наблюдению реакция, инфузорий не проявлялась мгновенно. Численно оценить инерционность реакции одноклеточных организмов данным методом невозможно. Обращает на себя внимание тот факт, что угнетающее воздействие теплового источника носит монотонный характер, в то время как реакция организма, при КВЧ-воздействии, изменяется во времени. Флуктуирующий характер отклика биологических сред на воздействие слабых магнитных и электромагнитных полей отмечался и в работе [17]. Природа этого явления требует дальнейшего исследования.

В данной работе обсуждается синергетический механизм взаимодействия КВЧ-энергии с биологическими объектами. Предложена трактовка «синергетического» и информационного характера для низкоинтенсивного КВЧ-воздействия. Исследуется чувствительность одноклеточных организмов (*Paramecium caudatum*) к КВЧ-воздействию. Приводится оценка чувствительности по изменению динамики их подвижности при тепловом воздействии в присутствии и отсутствии КВЧ-излучения. Экспериментальные результаты получены с помощью визуальной регистрации, с использованием компьютерной видеоаппаратуры.

При повторном облучении инфузорий, их активность существенно отличалась от первого сеанса облучения. Организмы оказывались менее чувствительными к КВЧ-излучению. Аналогичная реакция одноклеточных организмов была замечена и на других частотах, отличных от 52 ГГц.

Результаты от опыта к опыту были нестабильны, и авторы акцентируют внимание не на численных значениях, а на характере зависимости. Планируется проведение эксперимента по подбору оптимальной частоты воздействия, а также модернизация методики наблюдения для обеспечения большей достоверности результатов измерений.

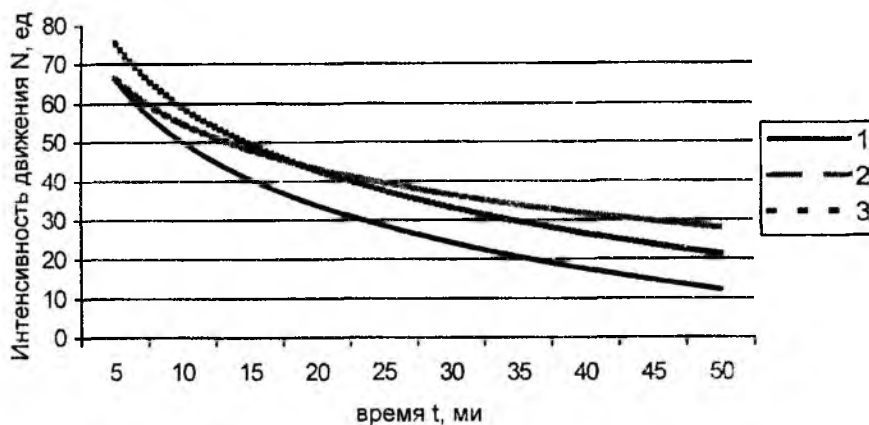


Рис. 3

Согласно полученным результатам тепловое шумоподобное излучение оказывает действие, противоположное низкоинтенсивному КВЧ-излучению. Механизмы воздействия излучения КВЧ-генератора и лампы накаливания отличны. Энергия кванта излучения в миллиметровом диапазоне не в состоянии вызвать молекулярных нарушений в структуре воды и скорее всего рассеивается на неоднородной границе молекулярного кластера, осуществляя микронагрев среды. Такой процесс может способствовать как повышению структуризации водной среды, так и наоборот, в зависимости от исходного состояния, что стабилизирует динамическое состояние среды жизнедеятельности одноклеточного организма. Энергия теплового излучения способна разорвать часть межмолекулярных связей, что нарушает равновесное состояние среды.

По результатам эксперимента сделать однозначный вывод, какой именно характер, «синергетический» или информационный, носит КВЧ-воздействие, нельзя.

Очевидным является тот факт, что, несмотря на сильные внешние и внутренние шумовые процессы, в системе одноклеточные организмы-вода заложен механизм повышенной чувствительности к присутствию КВЧ-излучения, вызывающего стимулирующее действие.

Список литературы: 1. Иткин В.Д. Биологические эффекты миллиметровых волн и корреляционный метод их обнаружения. Харьков: «Основа», 1990. 248 с. 2. Девятков Н.Д., Голант М.В., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: «Радио и связь», 1991. 168 с. 3. Петросян В.И., Житенева Э. А. и др. Физика взаимодействия миллиметровых волн с объектами различной природы // Радиотехника. М.: 1996. № 9. С. 20-31. 4. Синицин Н.И., Петросян В.И., Елкин В.А., и др. Особая роль системы «миллиметровые волны – водная среда» в природе // Биомедицинская радиоэлектроника. М.: 1998. № 1. С. 5-23. 5. Синицин Н.И., Петросян В.И., Елкин В.А. «СПЕ-эффект» // Радиотехника. М.: 2000. № 8. С. 83-93. 6. Миллиметровые волны в медицине и биологии / Под ред. Н.Д. Девяткова. М.: ИРЭ РАН, МГА «КВЧ», 1995. 245 с. 7. Бецкий О.В., Девятков Н.Д., Лебедева Н.Н. Лечение электромагнитными полями, Часть 2. Классификация электромагнитных волн по частотам (шкала электромагнитных волн) // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. № 10. С. 3-13. 8. Лагутин М.Ф., Басецкий В.Л. К вопросу о КВЧ биоэлектродинамики и терапии / 3-я международная конференция «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». Туапсе. Харьков: ХТУРЭ, 1997. С. 310. 9. Гуляев А.И., Петросян В.И., Лисенкова Л.А. и др. Теория и практика спектрально-волновой диагностики и прецизионно-волновой терапии // Радиотехника. № 9. 1996. С. 35-43. 10. Гемба В.Н. Создание физиотерапевтических приборов для воздействия комплексами низкоинтенсивных электромагнитных полей на раны мягких тканей человека: Дис... канд. техн. наук: 05.11.17. К. 2000. 202 с. 11. Буц В.А., Огиенко А.А., Лагутин М.Ф. Нелинейная обработка сигналов с использованием стохастического резонанса / 2-я международная конференция «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». Туапсе. Харьков: ХТУРЭ, 1996. С. 39. 12. Огиенко А.А. Стохастических резонанс в биосредах / 1-й международный молодежный форум «Электроника и молодежь в XXI веке». Харьков: ХТУРЭ, 1997. С. 13.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 17.05.2001