

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра антенн и устройств СВЧ

***ТЕХНИКА СВЧ И УВЧ  
В МЕДИЦИНСКИХ ПРИБОРАХ***

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
для студентов специальности «Медицинская электроника»  
дневной формы обучения

Минск 2005

УДК 621.38 (075.8)  
ББК 53.61 я 73  
Т 38

Авторы-составители:

А.А. Тамело, Д.Ф. Молодкин

Т 38

**Техника СВЧ и УВЧ** в медицинских приборах: Метод. пособие для студ. спец. «Медицинская электроника» дневн. формы обуч. / Сост. А.А. Тамело, Д.Ф. Молодкин. – Мн.: БГУИР, 2005. – 27 с.: ил. ISBN 985-444-812-6

В методическом пособии показаны современные достижения в области воздействия электромагнитных полей на биологические объекты. Описана проблематика взаимодействия электромагнитных волн с функциональной системой. Представлены для анализа эквивалентные схемы импеданса эритроцитов, нейронов и мембран. Рассмотрены вопросы применения электромагнитных волн для лечения различных болезней.

УДК 621.38 (075.8)  
ББК 53.61 я 73

ISBN 985-444-812-6

© Тамело А.А., Молодкин Д.Ф.,  
составление, 2005  
© БГУИР, 2005

# Содержание

## Введение

1. Современное состояние проблемы воздействия электромагнитных полей на биологические объекты
2. Краткие теоретические сведения о взаимодействии электромагнитных полей с биологическими объектами
3. Нейробиологические подходы к магнитотерапии
4. Применение электромагнитного излучения для лечения биологических объектов
  - 4.1. Биомедицинские эффекты КВЧ-волн в методах китайской акупунктуры
  - 4.2. Экспериментальное исследование и перспективы использования ЭМ-волн в онкологии
  - 4.3. Влияние ЭМ КВЧ-колебаний на функциональное состояние эритроцитов крови животных
  - 4.4. Терагерцовая медицина – развитие ЭМ КВЧ-терапии

## Заключение

## Литература

## Введение

В течение последних 40 лет проводятся исследования биофизических механизмов воздействия электромагнитных (ЭМ) волн сверхвысокочастотного (СВЧ) - и крайневых высокочастотного (КВЧ) - диапазонов на различные биологические объекты. В результате этих исследований был обнаружен ряд неизвестных ранее явлений, которые позволяют в общих чертах объяснить высокую чувствительность живых структур к излучению. Основным практическим итогом проведенных исследований является разработка основ новой области знаний миллиметровой электромагнитобиологии, а также широкое применение СВЧ - и КВЧ-излучений в медицине – для лечения различных заболеваний человека. Появилось и развивается одно из перспективных направлений в физиотерапии – «СВЧ- и КВЧ-терапия». Определен и продолжает расширяться диапазон лечебных частот и средств СВЧ- и КВЧ-терапии, используемых в медицинской практике.

Интересной особенностью действия ЭМ-излучения на живые организмы является тот факт, что при облучении достаточно крупных организмов действие его может сказаться на органах, значительно удаленных от места облучения. Экспериментально установлено, что даже при локальном облучении участка поверхности биологического объекта ЭМ-полем ответная реакция может наблюдаться на другом участке поверхности. Это говорит о том, что в живых организмах имеются своеобразные «приемники» излучения и каналы передачи полученной информации.

Живые организмы не гомогенны, а состоят из различных частей, выполняющих те или иные специальные функции; структурной и функциональной единицей служит клетка. Снаружи каждая клетка покрыта эластичным покровом, называемым плазматической мембраной. Через эту мембрану в клетки поступают все питательные вещества и выходят наружу все отходы или продукты секреции. Мембрана задерживает проникновение в клетку одних веществ и облегчает поступление других. Она действует так, как будто пронизана ультрамикроскопическими порами. По-видимому, это трехслойная пленка толщиной 10...12 нм, наружный и внутренний слои которой состоят из белка, а между ними находится слой фосфолипидных молекул. Нормальное функционирование всего организма является следствием нормального функционирования его клеток, которое обеспечивается непрерывным обменом веществами энергией с окружающей средой. Обмен веществами между клеткой и межклеточной средой происходит в результате переноса ионов веществ через мембрану.

Таким образом, исследование воздействия электромагнитных излучений на биологические объекты в настоящее время становится все более актуальным. В предлагаемом пособии авторы пытаются кратко изложить современное состояние исследуемой проблемы.

# 1. Современное состояние проблемы воздействия электромагнитных полей на биологические объекты

Остановимся на последних достижениях в данной области.

В [1] рассмотрены работы, касающиеся механизма острорезонансного действия КВЧ когерентных электромагнитных излучений малой мощности на живые организмы и значимости излучений для функционирования последних.

В [2] проанализированы механизмы структурных перестроек в биомембранах, вызванные изменением эндогенного внутримембранного электрического поля или при воздействии импульсов внешнего электрического поля, наводящего в мембранах напряженности, сравнимые с внутримембранными полями (порядка 100 кВ/м) при электропорации. В числе фундаментальных физико-химических процессов в мембране, зависящих от внутримембранного электрического поля, рассмотрены такие процессы, как диэлектрическая поляризация мембран и их ориентация, фазовые переходы в липидных доменах, приводящие к образованию пор, и ряд других эффектов. Обсуждены также вторичные процессы в клетках, вызванные электропробоем.

В [3] на модели взаимодействия двух гармоник исследован биологический эффект при облучении объекта миллиметровым излучением спектрального состава. Сдвиги частот гармоник рассчитаны как для силового, так и для параметрического описания резонансов.

В [4] исследовано влияние света (546 нм) различной продолжительности (2-10 с) на характер изменения мембранного потенциала под действием КС1. Облучение 2 и 9 с вызывало ослабление и замедление деполяризации, а также более быструю реполяризацию. Экспозиция продолжительностью 3,5 и 11 с увеличивала и ускоряла деполяризацию и замедляла реполяризацию. Авторы объясняют этот эффект асимметричным влиянием освещения на деполяризацию и реполяризацию за счет измерения текучести мембранионных токов и взаимодействия гидротированных катионов с основными группами на мембране с участием электромагнитного взаимодействия.

В [5] приведена модель взаимодействия слабых магнитных полей с биосистемами, рассмотренная ранее автором для случая импульсного возбуждения осцилляторов, рассмотрен случай непрерывного возбуждения осцилляторов. Получены выражения для пространственной поляризации колебаний осцилляторов в комбинированном и переменном и других полях. Постулируется, что величина биоэффекта, индуцированного в биосистеме магнитным полем, пропорциональна степени поляризации колебания иона. Показано, что имеющиеся экспериментальные данные находятся «в согласии» с предсказаниями теории.

В [6] исследовано влияние слабых переменных магнитных полей на модельные биологические системы: растворы красителей и белков. Методами абсорбционной и люминесцентной спектроскопии установлено изменение структуры этих систем под действием переменного магнитного поля частотой 156,4 Гц и амплитудой 12,3 А/м. Высказано предположение, что такое влияние осуществляется через водную матрицу. Для проверки данной гипотезы методом

корреляционной спектроскопии рассеянного света проведены исследования структуры воды и её изменения при различных температурах, при растворении неэлектролитов и воздействии магнитного поля переменной частоты. Полученные результаты указывают на изменение структуры воды после воздействия резонансного магнитного поля. Влияние слабых магнитных полей на структуру воды объясняется присутствием в воде кластеров, определяющих оптическую неоднородность среды. Проведена оценка размеров этих кластеров.

В [7] на голографическом интерферометре, позволяющем регистрировать  $\Delta n$  на уровне  $10^{-6}$ , получены данные, демонстрирующие изменение показателя преломления 2–10%-ных водных растворов плазмы крови, возникающие при воздействии излучения частотой  $37,5 \pm 78,5$  ГГц и мощностью 1–10 мВт.

В [8] показано резонансное действие импульсно-модулированных миллиметровых волн низкой интенсивности на двигательную активность одноклеточных простейших. Получена узкополосная зависимость величины биологического эффекта от частоты модуляции выхода КВЧ-мощности и от несущей частоты КВЧ-излучения. Полученные экспериментальные данные дают возможность предположить, что эффект воздействия модулированных миллиметровых волн в данных экспериментах обусловлен увеличением внутриклеточной концентрации ионов кальция.

Выполненные в [9] температурные измерения характеризуют параметры кинетических кривых рН среды при реализации электрического пробоя эритроцитарных мембран за счет диффузионной разности потенциалов. Вычислены значения энергии активации процессов  $Cl^- / OH^-$  - обмена через мембрану на 25%. Результат объясняется изменением состояния молекул воды в примембранном слое.

Для усиления иммуногенных свойств антигенов, прежде всего инфекционной природы, предполагается [10] обрабатывать антигенный материал электромагнитными волнами длиной 0,1 – 30 см (частота 1-300 ГГц) в течение 30-180 с. Электромагнитное и тепловое воздействие на антиген не вызывает денатурации белка, но разрушает чувствительность к такому воздействию антигенные эпитопы, оставляя интактными лишь резистивные эпитопы.

Предложенная в [11] математическая модель показывает действие акустико-электрических осцилляций на перенос протонов. Показано также, что это действие может быть связано с воздействием миллиметровых электромагнитных волн. Эти осцилляции могут быть подавлены облучением, влияющим на клеточные функции.

В [12], анализируя собственные и литературные данные, авторы приходят к заключению, что эффективность воздействия ЭМ-излучения нетепловых уровней мощности определяется уровнем структурно-функциональной активности мембраны в момент облучения. Облучение на стадиях активных структурно-функциональных перестроек мембран эритроцитов приводит к достоверным изменениям в померных и гидрофобных областях мембраны. Обсуждается роль отдельных компонентов мембраны в этих процессах.

## **2. Краткие теоретические сведения о взаимодействии электромагнитных полей с биологическими объектами**

Для понимания механизма реакций функциональных систем живого организма в ответ на действие электромагнитных полей (ЭМП) в большой степени подходит определение, в котором поле рассматривается как воздействующий информационный фактор на систему, вызывающий реакции системы, приводящие к нетривиальному ходу спонтанных процессов (нетривиальный - такой ход, вероятность которого не является максимальной). Из данного определения вытекает, что для реагирования системы нужна трансляция внешнего сигнала на внутренний стимул системы, а чтобы ход спонтанных процессов был нетривиальным, нужны амплификация и трансформация этого действия, использующие дополнительный источник энергии. Отсюда следует, что функциональная система (биологическая структура) отражает взаимодействие информационных сигналов и энергетических воздействий и является результатом ограничений, которые накладывают информационные воздействия на спонтанные термодинамические изменения. Этот процесс можно назвать нетривиальным осуществлением спонтанных реакций, позволяющих выделить систему из окружающей среды и поддержать ее равновесие. В известных работах вполне определенно доказано, что термодинамика и регуляция биологических систем связана информационными процессами.

В процессе эволюции живая природа использовала естественные ЭМП внешней среды как источник информации, обеспечивающий непрерывное приспособление организмов к изменениям различных факторов внешней среды. На основе этого можно объяснить высокую чувствительность организмов к изменениям ЭМП, несущим информационные сигналы. Эффекты суммации таких сигналов в биосистемах осуществляют "настройку" этих систем на восприятие ЭМП с определенными параметрами. Нарушение регуляторных функций в биосистемах появляется при неадекватной интенсивности воздействующих ЭМП, вносящих электромагнитные помехи, что ставит живой организм в зависимость от изменения параметров внешних ЭМП.

Если говорить об информации из внешней среды, то преимущества ЭМП по сравнению с другими носителями информации - звуком, светом, запахом - очевидны. ЭМП инфранизких и низких частот способны проникать во все среды обитания живых организмов - в глубины морей и океанов, толщу земной коры и, конечно, в живые ткани живых организмов. Информация с помощью ЭМП может передаваться на любые расстояния по планете и при любых метеорологических условиях. Сезонные, месячные, суточные периодические изменения метеорологических факторов согласованы с периодическими изменениями гео- и гелиоэлектромагнитных полей, на что очень четко реагируют живые организмы, соответственно изменяя свою экзо- и эндогенную деятельность.

Анализ наиболее существенных научных исследований показал, что теория информации не оказала существенного влияния на биологию и на ее от-

расль - медицину. Этому есть реальные причины. Первая причина - исследователи считают, что не оправдались ожидания на математическую тождественность информации и энтропии. Вторая причина - полученный результат по относительной пропускной способности каналов связи, верный с математической точки зрения, оказался неверным на практике, что поколебало доверие к теории информации вообще. Третья причина - исследователи выдвигают главное критическое замечание против использования в экологической физиологии теории информации, заключающееся в том, что она не связана с семантикой, т.е. со смыслом информации по отношению к рассматриваемой среде.

Главными же причинами такого положения дел являются «официальные догмы» в физике, сформированные на протяжении последнего полувека. По канонам этих догм воздействие электромагнитных волн (особенно низкочастотных) на живые организмы рассматривается как процесс, основанный на принципах движения Бернулли (броуновское) и теории Дебая, в то время как реально процесс движения в распределенных системах (к которым относятся живые организмы) проходит по принципу Даламбера - этот принцип вообще не рассматривается в физиологии и медицине именно по вышеназванным причинам.

Использование принципа Даламбера и информационной теории динамических систем позволило произвести расчеты, экспериментально подтвердить их и в дальнейшем доказать наличие фундаментальных свойств живых организмов (или их органов), формировать ответ-сигнал на воздействие низкочастотных модулированных импульсов ЭМП, носящих информационный характер. Следует отметить, что характер ответа сигнала достоверно отражает функциональные и морфологические (анатомические) свойства живого организма в реальном масштабе времени. На практике это означает возможность управления обменными процессами, функционированием органов, целых организмов по системам динамической и статической обратной связи с помощью информационных сложномодулированных электромагнитных полей, близких по своим параметрам к естественным полям биосферы.

Оценку информационной структуры воздействия инфранизкочастотных и низкочастотных электромагнитных полей на живой организм следует начать с энтропийной характеристики видов этих полей.

Известно положение, согласно которому биологическая система является открытой и неравновесной, поэтому постоянный обмен веществ тесно связан с поступлением энергии из окружающей среды. Термодинамическим условием существования этого обмена является неравновесность системы. Периодический характер электромагнитных процессов биосферы воздействует не только на систему термодинамических сил, поддерживающих существование живых организмов в "неравновесном режиме", но и определяется информационным воздействием. Однако, какой вид, форму должно иметь ЭМП биосферы или подобное ему искусственное ЭМП, чтобы «иметь возможность» воздействовать на живой организм информационными сигналами? Очевидно, такие ЭМП должны обладать высокой энтропией.



Как известно, клеточные мембраны - это функциональные структуры клеток толщиной в несколько молекулярных слоев, ограничивающих цитоплазму и большинство внутриклеточных образований, а также образующие единую внутриклеточную систему канальцев, складок и замкнутых полостей. Основными компонентами, входящими в состав клеточных мембран, являются биологические мембраны. Толщина биологических мембран редко превышает 10,0 нм, однако вследствие сравнительно плотной упаковки в них основных молекулярных компонентов (белков и липидов), а также большой общей площади клеточных мембран они составляют обычно более *половины массы* клеток. Биологические мембраны построены в основном из белков, липидов и углеводов. Белки и липиды составляют основную часть мембран. Доля углеводов обычно не превышает 10 - 15 %, причем они связаны либо с молекулами белка (гликопротеины), либо с молекулами липидов (гликолипиды). Содержание липидов и белков эквивалентны соотношению: 50 молекул липидов на 1 молекулу белка.

В функциональном отношении мембранные белки подразделяются на *ферментативные, транспортные и регуляторные*. Выделяют также *структурные* белки, которые выполняют в основном "опорно-строительные" функции.

Важным структурным компонентом мембран является вода. Особенности взаимодействия основных молекулярных компонентов мембран с водой определяют *структурно-функциональные свойства* мембран и являются решающими в процессе формирования ответной реакции на воздействие.

При действии внешнего переменного ЭМП основная «реакция» биологических мембран (и соответственно живых клеточных структур) связана с закономерностями, наблюдаемыми при прохождении электрической составляющей поля через биологические структуры. Формула закона Ома для данного случая будет иметь вид  $I = V - P/R$ , где функция времени  $P = f(t)$ .

Наблюдаемое явление близко к тому, что происходит в растворах электролитов, для которых характерно наличие эффекта поляризации, т.е. образование при прохождении электрического тока дополнительных зарядов за счет наполнения ионов обратного знака.

Следовательно, изменение силы электрического тока в биологических системах свидетельствует о том, что они также обладают способностью к поляризации или, иначе, накоплению количества электричества (в определенный момент времени), которое можно рассчитать по формуле поляризационной емкости конденсатора.

Таким образом, ***высокая поляризационная емкость - характерное свойство живых неповрежденных клеток и их биомембран.***

При воздействии переменными компонентами, составляющими электрическое поле, были выявлены следующие закономерности:

1) сопротивление биологических структур переменному току ниже, чем постоянному току;

2) сопротивление не зависит от величины тока, если эта величина не превышает физиологическую норму;

3) острый минимум компенсации при высокой емкости в системе разряд - импульс;

4) на фиксированной частоте сопротивление биологической структуры постоянно, если не меняется его физиологическое состояние;

5) компоненты сопротивления существенно изменяются при изменении физиологического состояния, например, при гибели (отмирании) сопротивление падает на несколько порядков;

6) электропроводимость биологических объектов с увеличением частоты увеличивается до некоторой максимальной частоты (около 10<sup>7</sup> Гц);

7) дисперсия электропроводимости, как и способность к поляризации, присущи только живым клеткам.

Для получения более полного представления о взаимодействии клеток и их биологических мембран с внешним электрическим полем прибегают к эквивалентам электротехнических схем, т.е. к таким комбинациям омического сопротивления  $R$  и емкости  $C$ , которые в первом приближении могут моделировать электрические параметры клеток.

Суммарная величина сопротивления живых объектов получила название импеданса ( $Z$ ), который складывается из активного омического сопротивления (резистанса) и реактивного сопротивления (реактанса), включающего в себя, кроме емкостного сопротивления, еще и индуктивное сопротивление цепи. Для живых клеток характерно сложное сочетание параллельного и последовательного соединения элементов, причем вариации этих соединений связаны с функциональным состоянием живых структур.

Импедансные характеристики, полученные в результате измерения сопротивления эритроцитов, позволили представить эквивалентную электрическую схему (рис.1).

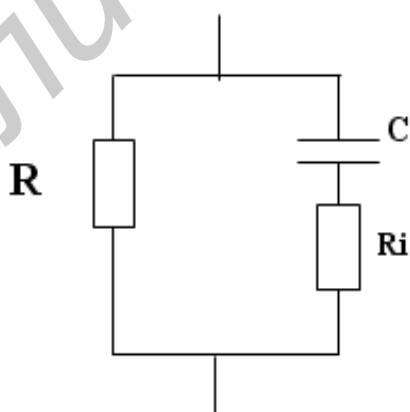


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема импеданса эритроцитов:  $R$  – омическое сопротивление межклеточной жидкости;  $R_i$  – сопротивление содержимого клетки;  $C$  – ёмкость мембраны

Для нервной ткани была рассчитана эквивалентная схема, включающая элемент формирования импульса (рис. 2).

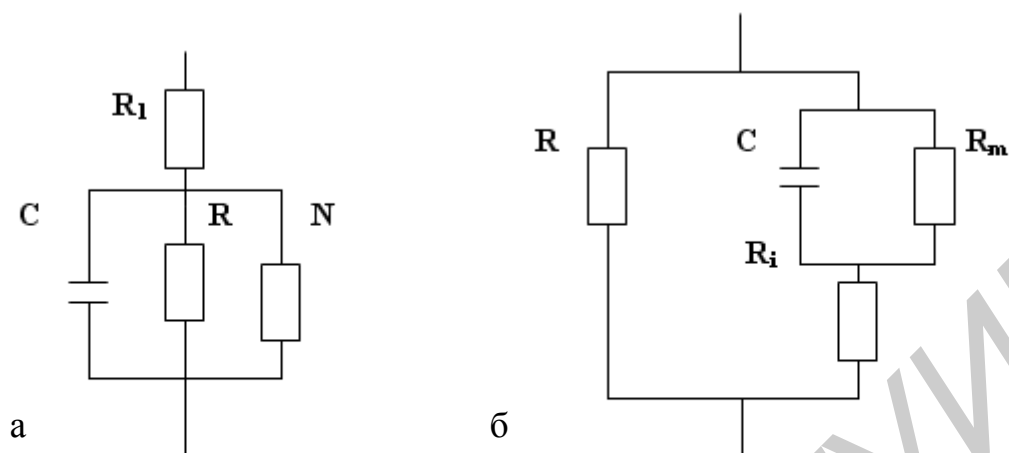


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема импеданса нейронов (а) и их мембран (б): N – элемент формирования импульса;  $R_m$  – омическое сопротивление мембраны

Представленные эквивалентные схемы, включающие последовательно-параллельное включение элементов, имеют реактивные и активные составляющие, которые являются функциями частот переменного тока электрической составляющей ЭМП и могут быть рассчитаны по формулам (2.1):

$$R_w = \frac{R}{1 + (\omega CR)^2}; \quad X_w = \frac{\omega CR^2}{1 + (\omega CR)^2}, \quad (2.1)$$

где  $R_w$  – сопротивление активной составляющей;

$\omega$  – круговая частота в Гц;

$C$  – емкостный компонент мембраны;

$R$  – сопротивление мембраны;

$X_w$  – сопротивление реактивной составляющей.

### 3. Нейробиологические подходы к магнитотерапии

В настоящее время научно-техническая революция сопровождается резким увеличением использования различных электромагнитных полей (включая магнитные поля (МП)) на производстве, в быту и в медицине. Этот процесс происходит настолько интенсивно и широко, что представители различных областей знаний зачастую не информированы о достижениях в смежных науках. В то же время широкое внедрение ЭМП в нашу жизнь приобретает громкое социальное звучание в связи с установленной экологической значимостью ЭМП, необходимостью гигиенической оценки этого физического фактора и применением МП в клинике с терапевтической и диагностической целью.

Сегодня чисто эмпирические приемы древней магнитотерапии обрастают теоретическими положениями магнитобиологии, возраст которой измеряется всего десятками лет. Реально магнит, т.е. постоянные магнитные поля (ПМП), стали применять для лечебных целей в незапамятные времена. При этом исходили из тактики воздействия магнитом на патологический очаг самого разного происхождения. Относительная доступность магнитов, отсутствие количественных подходов к использованию МП в медицине и другие обстоятельства позволяют иногда считать применение МП одним из приёмов народной медицины, а иногда и неким суеверием.

Магнитное поле следует считать сложным явлением материального мира, и описание воздействующего фактора требует определенных усилий со стороны экспериментатора. Прежде всего, необходимо тщательное измерение МП, создаваемого специально для эксперимента всех его параметров, обладающих биологическим воздействием, т.е. биотропных параметров. К биотропным параметрам МП прежде всего относятся: индукция, градиент, вектор, частота, форма импульса, локализация и т.д. Замеры этих параметров необходимы в каждом исследовании, но пока, к сожалению, нет достаточного количества измерительной аппаратуры.

В клинике чаще всего применяют высокоинтенсивные импульсные МП для локального раздражения возбудимых тканей организма. Эти МП занимают особое положение, которое, возможно, связано с преобладанием механизма наведения ЭДС в биологической системе. Во всяком случае биоэффект этого физического фактора часто сравнивают с реакцией организма на электрическое раздражение. В серии исследований, получивших название «магнитная стимуляция мозга», применение МП рассматривается как бесконтактное электрическое раздражение. Предполагают, что головной отдел позвоночных более реактивен к МП. Вероятно, это связано с расположением на голове таких магниточувствительных органов, как сетчатка глаза, носовые кости или эпифиз.

Участки кожи могут иметь разную чувствительность к МП. Возможно, эффект МП осуществляется через систему биологически активных точек, что реализуется в магнитотерапии через процедуру магнитоакупунктуры.

В отличие от привычных раздражителей эффект МП возникает через длительный латентный период и продолжается большой отрезок времени после окончания воздействия.

Магнитотерапии подвергаются люди с различными заболеваниями, разного пола и возраста, со своими индивидуальными отличиями. Как эти особенности учитываются в клинике?

Некоторые ученые считают процесс сперматогенеза самым чувствительным к различным МП, а семенники – «шоковым» органом. Исследования влияния МП на развитие эмбриона позволяют считать такое влияние эмбриотропным фактором. Крайним выражением эмбриотропности оказалось появление уродств, которые чаще возникали на ранних этапах формирования нервной системы. Отмечали нарушения беременности у лиц, работающих на компьютерах.

На ранних этапах развития организма обнаружили большую чувствительность самцов мышей к МП. Некоторые развивающиеся самцы иногда погибали в сильном неоднородном МП, тогда как самки всегда оставались живыми. У выживших самцов во взрослом состоянии нарушались процессы обучения. Неизвестны сообщения о половых различиях при магнитотерапии одних и тех же заболеваний, однако зависимость эффекта от исходного функционального состояния отмечалось часто.

При анализе реакций на МП зрелого организма нужно отметить, что при общем воздействии на этот фактор каждая система реагирует по-своему. На первое место нужно поставить нервную систему, эндокринную и органы чувств. Затем следует иммунная, сердечно-сосудистая, система крови, пищеварительная, дыхательная, покровная и костная.

То обстоятельство, что при локальном воздействии МП также обнаруживается реакция всех систем организма, заставляет предполагать участие в реакции организма регуляторных систем. Однако существование влияния МП на изолированные системы свидетельствует о прямом действии МП на любую живую ткань. В этом случае важную роль может играть периферическая регуляторная система, в функционировании которой важную роль играют тучные клетки. Отмечено увеличение числа этих клеток при воздействии МП. Наблюдается увеличение тучных клеток в области биологически активной точки, тем самым объясняется наличие магнитопунктуры.

Если с системного уровня переходить на клеточный, то в центральной нервной системе нужно отметить нейробиологическую реакцию на МП, которую наблюдали у позвоночных и беспозвоночных животных. Важная роль, отведенная им в нервной деятельности, отмечена недавно. Исследовались астроциты, олигодендроциты и микроглия. Более выраженной оказалась реакция астроцитов. У лиц, работающих в усиленных ЭМП и умерших от опухоли мозга, наблюдали более частое возникновение астроцитов. Недавно отметили поляризацию астроглии у людей, использующих компьютер, и назвали этот феномен новой идеей. Таким образом, астроциты могут быть своеобразным рецептором МП. Иными словами, именно астроциты наиболее чувствительны к ЭМП.

Главные процессы, связанные с реализацией действия МП на живую ткань, происходят на биомембранах.

Эмпирическая магнитотерапия обычно не учитывает перечисленные достижения магнитобиологии. На первый план выступает влияние МП на микроциркуляцию и гипотетический характер действия МП. Можно считать, что МП обладает обезболивающим, противовоспалительным и противоотечным свойством, а также способствует заживлению кожных ран.

Наибольшее впечатление в области клинической магнитотерапии производят достижения при лечении сосудистых заболеваний конечностей, в хирургической практике, в нейрохирургии травматологии, онкологической клинике и т.д. Однако для дальнейшего развития отмеченных направлений необходимы обобщения физиологического плана.

Если сравнивать МП с другими привычными раздражителями (свет, звук), то можно отметить некоторые его «странности» как раздражителя. Среди них – длительный латентный период начальных сенсорных и электрографических реакций, наличие реакций на выключение, нарушение памяти, изменение двигательной активности.

В специальных опытах установлено, что чаще этот «странный» раздражитель прокрадывается в сферу человека непривычным способом в виде слабой боли (покалывание, давление и т.п.). Участие мощитептивной системы в реакциях организма на различные МП может объяснить многие особенности этих реакций, но следует отметить, что слабые болевые ощущения быстро проходят, и в этом случае возникшее изменение следует изучать другими методами, например электрографическими и поведенческими.

Начиная описание сенсорной реакции на МП, нужно отметить, что довольно часто физиологи и психологи пишут о том, что ЭМП не ощущается человеком, хотя о сильном ощущении магнита и о возникновении магнитофосфена писали ещё в прошлом веке, а радиозвук и радионагревание хорошо известны со второй половины нашего века. Однако эти факты находились в стороне от основных путей развития нейрофизиологии.

Учеными проводились опыты по сенсорной индикации различных МП, действуя ими локально на тыльную сторону ладони испытуемого. Определяли время простой двигательной реакции, модальность ощущения, длительность и локальность сенсорной реакции, а также субъективную оценку её силы. Опытным путем было установлено, что длительность воздействия ЭМП при сенсорной индикации не должна превышать 1 минуты.

Пороговая интенсивность, определяемая сенсорным методом у высокочувствительных испытуемых, оказалась для постоянных МП = 5 мТл, для переменных (50 Гц) МП = 1 мТл и для ИМП = 0 мТл. Таким образом, разные поля дают разные пороги.

Важно, что в этих опытах воздействовали на правую и левую руку человека в случайном порядке. Отмечена также преимущественная заинтересованность правого полушария и в исследованиях при более длительном воздейст-

вии. Этот факт затрагивает сразу две проблемы: асимметрии и разной степени участия в реакции отдельных центров мозга.

На периферии более чувствительной к ЭМП была не ведущая рука. Явление асимметрии лишь недавно обнаружили в ЭМП. Объяснительный аппарат этого феномена ещё слабо развит, но даже те, кто профессионально занимается асимметрией мозга, происхождение этого важного биологического феномена связывают с МП. Иначе говоря, МП не только обнаруживает асимметрию, но и создает её.

Однако возможно и более прозаичное объяснение этого явления, например, высокой чувствительностью правого полушария, где больше содержится серотонина, который некоторые исследователи считают своеобразным рецептором МП.

Приведенные выше, а также другие факты показывают тесную связь проблем магнитобиологии с различными фундаментальными проблемами общей нейробиологии.

Нужно сказать, что в отличие от привычных раздражителей, ЭМП вызывает увеличение числа медленных волн и веретен, т.е. реакцию синхронизации. Такая реакция возникла одновременно во многих отделах мозга. Наиболее реактивной такая реакция была в гипоталамусе, затем следовали кора сенсомоторная, кора зрительная, специфические и неспецифические ядра таламуса, гиппокамп-ретикулярная формация среднего мозга. Однако эта иерархия изменялась при введении фармакологических препаратов.

Психофизиологические исследования обнаружили торможения реакций на обычные раздражители при воздействии ЭМП и преобладание тормозных процессов в условно рефлекторной деятельности у рыб, птиц и млекопитающих [14].

На основе приведенных сведений можно сделать вывод, что МП, часто считающееся слабым раздражителем, может вызвать сильную возбуждательную реакцию мозга.

## 4. Применение электромагнитного излучения для лечения биологических объектов

### 4.1. Биомедицинские эффекты КВЧ-волн в методах китайской акупунктуры

Широко известный метод лечения, называемый акупунктурой или рефлексотерапией, успешно применяется на практике около 5000 лет. Родиной является Китай. По учению древневосточной медицины, называемой «чжен-цзю», акупунктурные точки (биологически активные точки – БАТ) объединены двенадцатью основными меридианами, имеющими так называемыми внешний (подкожный) ход, объединяющий определенную группу точек и обеспечивающий связь с внешней средой. Внутренний же ход соединяет меридиан с системой определенного органа. Заболевания вызываются избытком или недостатком энергии в определенных меридианах. Лечение сводится к восстановлению равновесия циркуляции энергии в организме посредством определенного воздействия на БАТ.

В литературе [1] рассматривают взаимодействие ЭМ-волн на БАТ в процессе акупунктуры с применением нитевидных игл и микроиглотерапии с использованием микроигл исторически традиционной формы. Иглу, введенную в БАТ, можно представить в виде приемопередающей антенны, работающей в диапазоне частот, включая диапазон КВЧ,  $\sim 0,5 \dots 1000$  ГГц. Диапазон частот определен по размерам и геометрии игл.

ЭМ-поле вокруг иглы имеет круговую или эллиптическую поляризацию. Часть иглы, введенной в БАТ, имеет хорошее согласование с ней через линию Губо с плавным уменьшением диаметра центрального проводника (иглы) до острия, контактирующего с БАТ. Поэтому внешний сигнал проходит внутрь БАТ на глубину, существенно (в 10 ... 40 раз) превышающую кожный слой, с малыми потерями. В области острия формируется электрическое поле с большой напряженностью, вызывающее усиление ионных токов в биологической среде.

Энергия ЭМ-поля в режиме приема расходуется не только на возбуждение внутренней среды БАТ, но и на облучение поверхности кожи БАТ вокруг иглы полем, имеющим круговую поляризацию. В режиме передачи внутренняя часть иглы принимает излучение из биологической среды, передает на внешнюю часть иглы и излучает в свободное пространство. Предложенная модель подтверждается экспериментально. При облучении кожи человека монохроматическим сигналом мощностью 10 мВт на частотах 50,3; 51,8 и 68 ГГц тело человека начинает излучать в атмосферу поле стохастического резонанса на частоте  $\sim 1$  ГГц.



## 4.2. Экспериментальное исследование и перспективы использования ЭМ-волн в онкологии

Медиками проводились эксперименты с изолированной кожей лягушек, в которых изучалось воздействие наносекундного ЭМ-излучения сантиметрового диапазона на кожу лягушек. В качестве источника излучения использовали релятивистский генератор типа ЛОВ-О с продольным магнитным полем и параметрами:  $U_{\text{ускор}} = 300$  кВ,  $I_{\text{рабоч}} = 1,5$  кА,  $P_{\text{излуч}}$  в имп.=30 МВт,  $\lambda_{\text{изл}} = 3$  см ( $f = 10$  ГГц),  $\tau = 10$  нс. Кожа лягушки широко используется для изучения мембранных транспортных процессов. В первой серии экспериментов изучали трансэпителиальный перенос ионов натрия. Образцы кожи из брюшка лягушки, омываемой аэрируемым раствором Рингера, во фторопластовых держателях помещались в круглый волновод так, что  $E_{\text{max}}$  поля волны типа Н01 в круглом волноводе составляла  $\sim 10^5$  В/см. Контрольные образцы располагались вблизи генератора таким образом, чтобы исключить воздействие СВЧ-излучения.

Во второй серии опытов исследовалось изменение массы замкнутых мешочков из кожи лапок лягушки, заполненных раствором с ионами  $Na^+$ . Мешочки помещались в аэрируемый раствор Рингера. Внешняя сторона кожи находилась внутри мешочков; активный транспорт  $Na^+$ , сопровождаемый осмотическим потоком воды, был направлен наружу и приводил к уменьшению массы мешочков. Они размещались в плоскости рупора-антенны в области максимального СВЧ-поля. В каждой серии проводилось по 8 опытов. В опытах первой серии СВЧ-излучение вызывало обратимую активацию трансэпителиального активного переноса  $Na^+$ . Во второй серии облучение мешочков вызывало ускорение снижения их массы на 50-60 % по сравнению с контролем. Этот результат можно объяснить либо ускорением активного транспорта  $Na^+$ , либо увеличением проницаемости кожи для молекул воды. Позднее были проведены эксперименты с эритроцитами. Изучалось воздействие наноимпульсного излучения сантиметрового диапазона на «залечивание» мембран эритроцитов, предварительно поврежденных электрическим пробоем.

Исследовалось также влияние СВЧ-импульсов на агрегацию эритроцитов в результате сахарозы. Агрегация клеток является результатом физико-химических взаимодействий мембран. В результате этих экспериментов было показано, что обработка густой суспензии эритроцитов наносекундными импульсами увеличивает скорость агрегации этих клеток, причем агрегируют только эритроциты с неповрежденными мембранами. Значит, наносекундные СВЧ-импульсы способны «залечивать» мембраны эритроцитов. Результаты данных экспериментов были признаны обнадеживающими, что послужило основанием для постановки экспериментов с более сложными биологическими объектами.

После первых и успешных экспериментов с ЭМ-наноимпульсами было принято решение о постановке экспериментов по воздействию нового вида ЭМ-излучения на злокачественные образования. Идеология экспериментов за-

ключалась в том, чтобы выяснить возможность торможения в развитии злокачественной опухоли и ее рассасывания под действием ЭМ-наноимпульсов. Эта идеология подкреплялась следующими двумя принципами, вытекающими из многочисленных данных по развитию опухолей:

- злокачественное развитие обратимо;
- злокачественные клетки отличаются от здоровых изменением физического и химического гомеостаза с неудержимым делением клеток и воспроизводством онкобелка.

Злокачественные клетки, в отличие от здоровых, характеризуются отсутствием или ослаблением контактного торможения. Этот эффект объясняется, в первую очередь, существенными изменениями в структуре и функциях плазматических мембран. Инициаторы постановки нового цикла работ резонно считали, что при изменении мощности и частоты заполнения наноимпульсного излучения плазматические мембраны клеток способны перестроиться таким образом, чтобы можно было перевести их в условия нормальной дифференцировки и обеспечить контактное торможение. В результате чего удастся сдвинуть физический и химический гомеостаз к норме.

В экспериментах использовались малогабаритные импульсные релятивистские генераторы в СВЧ- и КВЧ-диапазонах, которые работали на трех длинах волн:

- 1)  $\lambda=8$  мм с напряженностью электрического поля волны в точке приложения рупорной антенны к телу подопытного животного  $E=20$  кВ/см;
- 2)  $\lambda=15$  мм с величиной  $E=30$  кВ/см;
- 3)  $\lambda=3$  см с величиной  $E=80$  кВ/см.

Опыты проводились на крысах, которым прививали штамм соркомы Уокера. Опытное животное помещалось перед выходным рупором релятивистского генератора. Облучению подвергался участок тела (правое бедро) диаметром 3 ... 5 см в месте введения штамма. Количество злокачественных клеток штамма в каждой дозе варьировалось от 50 до 5 тыс.; такая же доза вводилась каждому контрольному животному, которое не подвергалось облучению. В дальнейшем контрольные животные содержались в условиях, аналогичных для облученных животных. Во время одного сеанса облучения использовалось 43 импульса с промежутком между импульсами, равном 40 с.

Опыты показали, что облучение животных при  $\lambda=8$  мм приводит к замедлению роста опухоли в 1,5 раза по сравнению с контрольными животными. Как показали следующие эксперименты, при этом продолжительность жизни облученных животных возрастает примерно на 25...30 %. Близкие результаты были получены и для другой длины волны,  $\lambda=15$  мм, но при этом замедление роста опухоли и увеличение продолжительности жизни животных были несколько меньше.

Большой научный и практический интерес представляет сравнение воздействия на животных мощного наноимпульсного и низкоинтенсивного непрерывного миллиметрового излучения. С этой целью были поставлены эксперименты по изучению воздействия таких излучений на злокачественные опухоли в одно

и то же время на разных группах животных. Эксперименты проводились на 50-ти беспородных самках крыс и 77 мышах. Воздействие осуществлялось наноимпульсным излучением на длине волны  $\lambda=3$  см с пиковой мощностью 100 МВт, частотой следования импульсов 6 имп./мин в течение 7 дней по 30 мин. В день для крыс проводилось по два курса в течение 4 и 5 дней, а для мышей (ежедневно за тот же период времени) в качестве источников использовали генераторы низкоинтенсивного непрерывного КВЧ-излучения с длинами волн 5,6 и 7,1 мм, имеющие выходную плотность мощности примерно  $10 \text{ мВт/см}^2$ . Воздействие непрерывным излучением проводилось одновременно с наноимпульсным – длительность и количество сеансов было одинаковым. В опытах с крысами дополнительно к воздействию ЭМ-излучением использовался химпрепарат «эндоксан», который вводился всем группам животных, кроме одной контрольной, не подвергавшейся никакому воздействию. В опытах с мышами применялось как моновоздействие ЭМ-полями, так и в сочетании с эндоксаном.

В экспериментах на крысах получено весьма заметное и близкое по величине торможение роста опухоли как при воздействии непрерывным излучением – до 85,5 % при  $\lambda=7,1$  мм и 91,9 % при  $\lambda=5,6$  мм, так и при воздействии наноимпульсным излучением – до 89,4 % в опытах с использованием эндоксана по сравнению с контролем.

Результаты экспериментов на мышах показали, что в группе, в которой использовалось излучение с  $\lambda=7,1$  мм, торможение роста опухоли оказалось заметно ниже по сравнению со всеми другими случаями. Торможение роста опухоли при комбинированном облучении ЭМ-полем с эндоксаном увеличилось на 30 % по сравнению с воздействием одним эндоксаном. Комбинация облучения КВЧ и СВЧ с эндоксаном дает наилучший терапевтический эффект. Экспериментально было показано также, что при воздействии импульсным и непрерывным излучением, как с химпрепаратами, так и при моновоздействии ЭМ-излучением, уменьшается степень метастатического поражения легких у мышей в среднем на десятки процентов.

Исключительно важным было установить, не вызывает ли каких-либо побочных эффектов воздействие на экспериментальных животных наноимпульсным излучением. Наблюдение за облученными животными, проводившееся в течение более одного года, не выявило никаких видимых изменений ни в поведенческих реакциях животных, ни в их общем состоянии.

### 4.3. Влияние ЭМ КВЧ-колебаний на функциональное состояние эритроцитов крови животных

В настоящее время в медицинской практике применяют КВЧ-приборы, работающие на частотах, близких к частотам первого диапазона селективного поглощения атмосферного кислорода 50 ... 65 ГГц. Однако в ветеринарной практике проведены только поисковые работы, направленные на обработку приемов и возможности применения КВЧ-излучений для лечения животных. В этих работах выяснено влияние ЭМ-поля на иммунобиологический статус животных.

На сегодняшний день выпускается и используется широкая номенклатура КВЧ-аппаратов для КВЧ-терапии, однако специализированная аппаратура для ветеринарной практики пока не разработана. В связи с этим стоит задача – изучить влияние ЭМ КВЧ-колебаний на частотах молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода на функциональное состояние эритроцитов у животных при контакте их с атмосферным воздухом.

В экспериментах использовали кровь, полученную от 15 клинически здоровых лактирующих коров, которую стабилизировали цитратом натрия. Полученные эритроциты делили на две части: одна служила для контроля, а вторую подвергали ЭМ КВЧ-воздействию на частоте 129 ГГц. В контрольных и опытных образцах после проведения опытов определяли количество эритроцитов, СОЭ и других характеристик. Результаты исследований были подвергнуты обработке на основе статистического критерия значимости Стьюдента и проверены непараметрическими методами.

Проведенные эксперименты свидетельствуют о том, что количество эритроцитов после воздействия ЭМ-излучения КВЧ достоверно уменьшается с  $6,88 \pm 0,36$  до  $4,97 \pm 0,49 \cdot 10^{12}$  м. При этом количество эритроцитов изменяется в зависимости от времени воздействия ЭМИ КВЧ, достигая минимума при 90 мин. Также с помощью цитофотометрических показателей эритроцитов, полученных путем исследования микрочастиц, было выявлено увеличение среднего диаметра, периметра и объема эритроцитов в опытных образцах. Результаты проведенных морфологических, биохимических и биофизических исследований свидетельствуют также о том, что ЭМИ КВЧ на частоте молекулярного спектра поглощения атмосферного кислорода вызывает снижение жесткости мембран эритроцитов и приводит к разрушению части гипотоцитов.

Результаты экспериментов, впервые проведенных на крови животных, носят чисто научное значение, как первый шаг в познании биофизики взаимодействия живых клеток и атмосферного воздуха с КВЧ-волнами.

#### 4.4. Терагерцовая медицина – развитие ЭМ КВЧ-терапии

Если биологическую среду представить в виде многослойной матрицы нелинейных реактивностей [15-19], то для такой среды можно использовать спектральные соотношения Мэнли – Роу (4.1), (4.2)

$$\sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{mP_{m,n}}{mf_1+nf_2} = 0; \quad (4.1)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{nP_{m,n}}{mf_1+nf_2} = 0, \quad (4.2)$$

где  $P_{m,n}$  - поток мощности, излучаемый биологической средой, состоящий из бесконечного числа гармонических составляющих на частотах вида  $mf_1+nf_2$ ;  $f_1$  и  $f_2$  - частота измеряемого сигнала и частота внешнего сигнала соответственно.

Если представить, что в исследуемой среде существуют колебания (молекулярные спектры метаболизма) только на следующих частотах и мощностях: на частоте измеряемого сигнала  $f_C$  мощностью  $P_C$ , на суммарной частоте  $(f_H+f_C)$  мощностью  $P_+$  и разностной частоте  $(f_H - f_C)$  мощностью  $P_-$ , и при этом на среду действуют волны частот  $f_H$  мощностью  $P_H$  генератора накачки, то соотношения (4.1, 4.2) принимают вид:

$$\begin{aligned} \frac{P_H}{f_H} + \frac{P_+}{f_H + f_C} + \frac{P_-}{f_H - f_C} &= 0; \\ \frac{P_C}{f_C} + \frac{P_+}{f_H + f_C} - \frac{P_-}{f_H - f_C} &= 0. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Эти соотношения поясняют принцип преобразования энергии в биологической среде.

Из формул (4.3) следует, что если рассматриваемая среда поглощает мощность от генератора накачки  $P_H$ , то при определенных условиях она способна излучать мощность на частотах  $f_C$ ,  $(f_H+f_C)$ ,  $(f_H - f_C)$ . Если радиометр, принимающий сигнал, настроен на частоту  $(f_H - f_C)$ , то формулы (4.3) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \frac{P_H}{f_H} + \frac{P_-}{f_H - f_C} &= 0; \\ \frac{P_C}{f_C} - \frac{P_-}{f_H - f_C} &= 0. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Из формулы (4.4) следует важный вывод – мощность генератора накачки с помощью биологической среды преобразуется на частотах  $f_C$  и  $(f_H - f_C)$ . Поэтому если на среду подать сигнал на частоте  $f_C$  или  $(f_H - f_C)$ , то должно проис-

ходить усиление, величина которого определяется формулой (4.4). Коэффициент усиления по мощности  $K$  на частоте  $(f_H - f_C)$  будет [16]

$$P = P_c K, \quad (4.5)$$

где  $K = (f_H - f_C) / f_C$ .

В этом случае можно говорить о параметрическом усилении в биологических средах, причем необходимо отметить важное свойство этой модели, заключающееся в том, что параметрическое усиление может происходить при весьма низком уровне молекулярных шумов среды [17].

Основной проблемой измерений молекулярных спектров биополей являются вопросы экранирования от внешних электромагнитных и теплошумовых полей.

На рис.3 показаны: общая схема анализатора, где  $A$  - приемно-передающая антенна;  $P$  - ВЧ-радиометр,  $\Sigma$  - ВЧ СВЧ сумматор;  $\Gamma$  - генератор молекулярных спектров метаболитов  $f_H(t)$ ;  $mf_1 + nf_2$  - спектры излучения и поглощения метаболитов;  $f_C \in mf_1 + nf_2$  - измеряемая частота, принадлежащая спектру  $mf_1 + nf_2$ ;  $f_n$  - промежуточная частота (частота приема радиометра);  $\mathcal{E}$  - камера, экранированная от внешних электромагнитных излучений;  $T_0$  - температура окружающей среды;  $T_1$  - температура биологической среды  $T_1 > T_0$ .

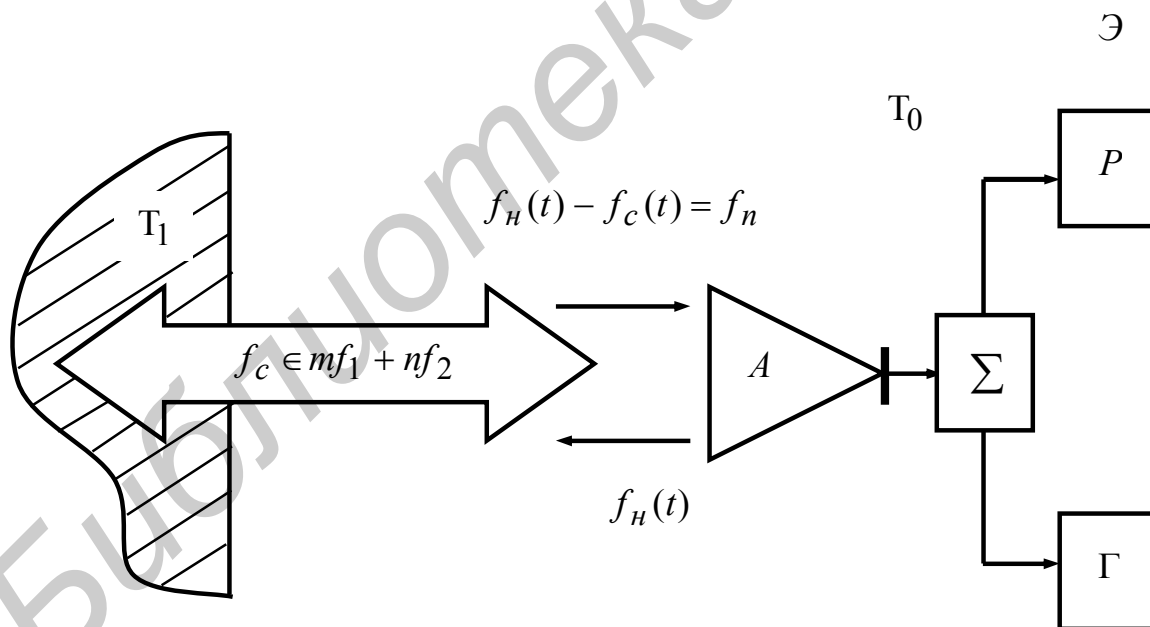


Рис. 3. Анализатор молекулярных спектров биологических сред

При перестройке частоты  $f_H$  в пределах 50...70 ГГц сигнал на выходе радиометра, принимающий сигнал,  $f_n = 1$  ГГц, носил резонансный характер 1,2,3 (рис.4, где  $I$  - интенсивность поглощения; 1,2,3 - резонансы «прозрачности» воды; А, Б - лечебные частоты КВЧ-терапии. Их интенсивность связывается с активностью процесса метаболизма.

Предложенная в качестве рабочей модель Мэнли – Роу позволяет использовать частоты резонансной «прозрачности воды без принципиальных технических изменений аппаратуры также для оценки участия кислорода в обменных процессах.

Известно, что вода плохо растворяет кислород - около 2 %. Воду, скорее, можно называть экраном или фильтром. Спектры молекулярного поглощения атмосферного кислорода (рис.4) находятся в диапазоне 50...70 ГГц.

Последние исследования свойств воды при воздействии на нее электромагнитного излучения в этом диапазоне частот показали наличие в нем спектров резонансной «прозрачности» 1,2,3 (см. рис.4) и лечебных частот А,Б, используемых в КВЧ-терапии.

Вода служит как бы регулятором окислительных процессов.

Таким образом, шумовое КВЧ-поле молекулярного излучения кислорода с поверхности кожи суммируется не только из спектров излучения диффундируемого из кожи кислорода, но и спектров растворенного в ней кислорода и пропускаемого через нее спектров кислорода.

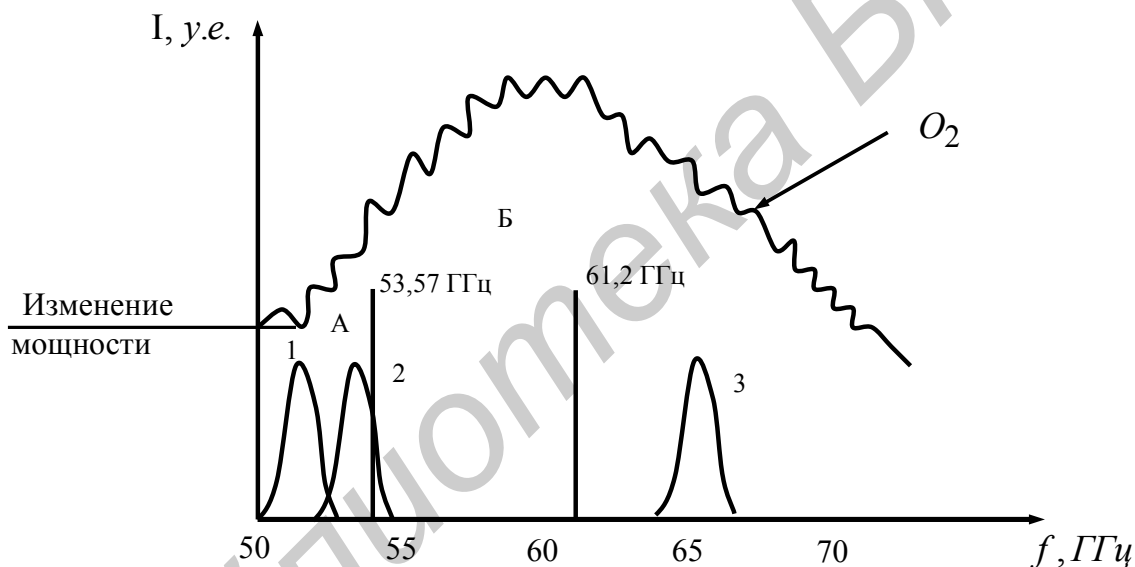


Рис. 4. Спектр поглощения в атмосферном кислороде  $O_2$

Анализ молекулярных спектров (см. рис.4) показывает, что спектр поглощения в атмосферном кислороде является определяющим признаком существования лечебных частот КВЧ-терапии, связанной с восстановлением обменных процессов кислорода и воды в живых организмах при их нарушениях.

Предложенная аппаратура и метод спектрального анализа на основе модели Мэнли – Роу, по нашим представлениям, перспективны и могут найти практическое применение для исследования молекулярных спектров и других метаболитов ( $NO$ ,  $CO_2$  и др.).

## Заключение

Подводя итоги, можно сделать следующие основополагающие выводы:

1. При обзоре состояния проблемы воздействия электромагнитных полей на биологические объекты было обращено особое внимание на современные достижения в области взаимодействия электромагнитных полей. Проанализированы различные литературные источники, которые охватывают наиболее ярко выраженную актуальность проблемы взаимодействия электромагнитного поля с объектами.

2. В теоретической части была подробно освещена проблематика взаимодействия электромагнитных волн с функциональной системой. В качестве функциональной системы рассматривалась биологическая система. Анализируя воздействие внешнего переменного ЭМП на функциональную систему, явно было установлено, что основная «реакция» биологических мембран (и соответственно живых клеточных структур) связана с закономерностями, наблюдаемыми при прохождении электрической составляющей поля через биологические структуры. Для получения более полного представления о взаимодействии клеток и их биологических мембран с внешним электрическим полем можно прибегать к эквивалентам электротехнических схем, т.е. к таким комбинациям омического сопротивления  $R$  и емкости  $C$ , которые в первом приближении могут моделировать электрические параметры клеток, что значительно упрощает анализ воздействия электромагнитных волн на объекты. Представлены для анализа эквивалентные схемы импеданса эритроцитов, нейронов и мембран.

3. Особое внимание уделено взаимодействию магнитных полей с биологическими объектами. Приведенные результаты в работе [14] свидетельствуют о том, что МП, часто считающиеся слабым раздражителем, могут вызывать сильную возбудительную реакцию мозга, что необходимо учитывать при лечении.

4. Также рассмотрено применение электромагнитных волн для лечения различных болезней. Анализ молекулярных спектров показывает, что спектр поглощения в атмосферном кислороде является определяющим признаком существования лечебных частот КВЧ-терапии, связанной с восстановлением обменных процессов кислорода и воды в живых организмах при их нарушениях. Предложенная аппаратура и метод спектрального анализа на основе модели Мэнли Роу, по нашим представлениям, перспективны и могут найти практическое применение для исследования молекулярных спектров.

Таким образом, в настоящее время актуальным вопросом современной биотехнологии, медицины и ветеринарии является поиск способов интенсификации воздействия электромагнитных волн на живые существа. Данная область исследований еще долгие годы будет оставаться актуальной проблемой человечества.



## Литература

1. Голант М.Б. Резонансное действие когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона волн на живые организмы // Биофизика. 1989. Т. 34. № 6. С. 1004 – 1014.
2. Neumann E. Electric field-induced structural rearrangements in biomembranes // Stud. Biophys. 1989. 130. №13. С. 139-143.
3. Андрущенко А.П. Модель взаимодействия резонансов при воздействии миллиметрового излучения // 7 Всесоюз. семин. «Применение КВЧ-излуч. низк. интенсивности в биол. и мед.». Сб. докл. Звенигород, 13-15, 1989: Тез. докл. С. 96.
4. Neacsu I., Albu I., Comorosan S. Effect of the electromagnetic radiation's in the isible domain upon the dynamics of the membrane potential// Ref. Roum. Biol. Ser. Anim. 1994. Т. 39. №1. С. 47-52.
5. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика. 1998. Т. 41. №1. С. 224-232.
6. Баренов А.Н., Киселев В.Ф., Розонов В.В., Салецкий А.М. Влияние слабых магнитных полей на водные и модельные биологические системы // Авиакосм. и экол. мед. 1995. Т. 29. №6. С. 45-49.
7. Бережинский Л.И., Грилина Н.Я., Довбшенко и др. Визуализация действия миллиметрового излучения на плазму крови // Биофизика. 1993. Т. 38. №2. С. 378-384.
8. Гапеев А.Б., Чемерис Н.К., Фесенко Е.Е., Храмов Р.Н. Резонансные эффекты модулированного КВЧ-поля низкой интенсивности. Изменение двигательной активности одноклеточных простейших *Paramecium caudatum* // Биофизика. 1994. Т. 39. №1. С. 74-82.
9. Емец Б.Г. Влияние миллиметровых электромагнитных волн на электрохимическую стабильность мембран эритроцитов // Радиологич. съезд, Киев, 20-25 сент., 1993: Тез. докл. Ч.1. С.344.
10. Bundesen P. G., Ryblatt D. V.. Immunological use of microwaves // Патент 640643. (Швейцария). Заявл. 02.05.90. Оpubл. 09.93.
11. Neshev N. N., Kirilova E. I. Possible nonthermal influence of millimeter waves on proton transfer in biomembrance // Electro and magnetobiol. 1994. 13. №3. С. 194-199.
12. Николаев А.А., Ким Ю.В. и др. Изменение структурно-функциональной организации мембран под воздействием электромагнитного излучения КВЧ-диапазона низких интенсивностей // Радиобиология. 1994. Т. 6. №3. С. 124-127.
13. Кузнецов А.Н. Биофизика низкочастотных электромагнитных воздействий. – М.: МФТИ, 1994.
14. Холодов Ю.А. Нейробиологические подходы к магнитотерапии // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. №2. С.30 - 38.

15. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Стохастический резонанс и проблема воздействия слабых сигналов на биологические системы // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2002. №3 (27). С. 3-11.

16. Бецкий О.В., Креницкий А.П., Лебедева Н.Н. и др. Биофизические эффекты волн терагерцового диапазона и перспективы развития новых направлений в биомедицинской технологии // Терагерцовая терапия и терагерцовая диагностика. 2003. №12. С. 28-32.

17. Козарь А.В., Королев А.Ф., Шевелева Е.Н. и др. Формирование интерференционной картины при моделировании воздействия ММ-облучения на многослойную кожную ткань // Миллиметровые волны в биологии и медицине. 2002. №3 (27). С. 12-19.

18. Яшин А.А. Стохастический резонанс в шумовом спектре клеточных агрегаций, инициированный внешним электромагнитным облучением организма, как механизм активации процессов регуляции свободной энергии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 1999. Т.2. №3-4. С.41-50.

19. Яшин А.А. Явление стохастического резонанса в биосистемах при воздействии внешнего электромагнитного поля и его роль в регуляции свободной энергии // Physics of the Alive. 2000. V.8. №2.

Учебное издание

## **Техника СВЧ и УВЧ в медицинских приборах**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**  
для студентов специальности «Медицинская электроника»  
дневной формы обучения

Авторы-составители:  
**Тамело Александр Арсеньевич,**  
**Молодкин Дмитрий Фёдорович**

Редактор Т.Н. Крюкова  
Корректор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать 27.06.2005. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура «Гаймс».

Уч.-изд. л. 1,5.

Печать ризографическая.

Тираж 50 экз.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,74.

Заказ 101.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004

220013, Минск, П. Бровки, 6