

*О. В. Бецкий,
В. В. Кислов,
Н. Н. Лебедева*

МИЛЛИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

«САЙНС-ПРЕСС»

Москва 2004

УДК 621.371
Б56
ББК 22.336

Научная серия
«Информационные технологии и живые системы»
Редактор
докт. физ.-мат наук В. В. Кислов

Рецензенты
докт. физ.-мат. наук, проф. **А. Г. Шеин**
докт. мед. наук, проф. **С. Д. Плетнёв**

Бецкий О. В., Кислов В. В., Лебедева Н. Н.

Б56 Миллиметровые волны и живые системы. — М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. — 272 с.: ил.

ISBN 5-94818-024-7

Обобщается почти сорокалетний опыт исследований в области применения низкоинтенсивных электромагнитных волн миллиметрового (крайне высокочастотного) диапазона в биологии и медицине. Рассмотрен широкий круг вопросов – от биотропных параметров миллиметровых волн до особенностей их взаимодействия с биологическими структурами. Подробно анализируются механизмы взаимодействия миллиметровых волн с живыми системами. Основное внимание уделяется применению миллиметровых волн в медицине, сельском хозяйстве, биотехнологии, а также разработке терапевтической аппаратуры.

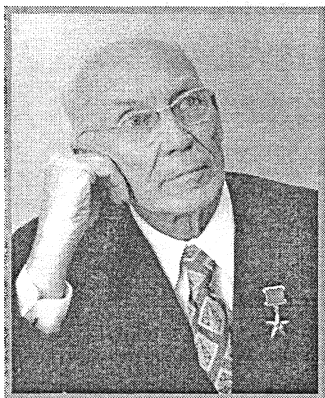
This work is a summary of more than 40 years of research in the area of interaction of electromagnetic waves with biological systems. Broad spectrum of microwave applications (extremaly high frequency low intensity electromagnetic waves) in biology and medicine is considered – from biotropic parameters of microwaves to mechanisms of their interaction with biological structures and applications in medicine, biotechnology and agriculture and also development of therapeutic devices.

УДК 621.371
ББК 22.336

ISBN 5-94818-024-7

©Авторы, 2004
©«САЙНС-ПРЕСС», 2004

**ПАМЯТИ
НИКОЛАЯ ДМИТРИЕВИЧА
ДЕВЯТКОВА
ПОСВЯЩАЕТСЯ
ЭТА КНИГА**



Николай Дмитриевич Десятков – выдающийся русский учёный в области электроники СВЧ, академик РАН, доктор технических наук, профессор. Уроженец старинного города Вологда, выпускник Ленинградского Политехнического института. Более 50 лет творческой жизни Николая Дмитриевича связаны с НИИ «Исток» (г. Фрязино). Заслуги Николая Дмитриевича перед Отечеством были отмечены многими орденами и медалями, званием Героя Социали-

стического труда, пять раз Николай Дмитриевичу присуждалось звание Лауреата – Государственной премии СССР, Ленинской премии, Государственной премии РФ, премий Совета министров СССР и РФ.

Занимаясь на протяжении многих лет оборонной тематикой, Николай Дмитриевич очень много сделал для внедрения достижений электроники в практическую медицину.

В следующем году исполняется сорок лет со дня научного семинара, на котором Николай Дмитриевич рассказал о перспективах использования только что освоенного миллиметрового диапазона длин волн в нетрадиционных областях применения – в медицине и биологии. Вместе со своими коллегами, прежде всего с М. Б. Голантом, Николай Дмитриевич является основоположником миллиметровой (крайне высокочастотной) терапии – нового научно-практического направления, возникшего на стыке ряда научных дисциплин – радиоэлектроники, медицины, биофизики, биологии и др.

Мы, ученики Н. Д. Десяткова, решили сделать первый шаг в обобщении большого экспериментального материала в области миллиметровой электромагнитобиологии, накопленного Московской школой в этой интересной и перспективной области знания, и посвящаем эту небольшую книгу памяти Н. Д. Десяткова.

О.В. Бецкий, В.В. Кислов, Н.Н. Лебедева
Москва, 2004 г.

ВВЕДЕНИЕ

В прекрасной книге А.С. Пресмана «Электромагнитные поля и живая природа» [1] впервые был поставлен вопрос и исследована на большом экспериментальном материале проблема взаимодействия электромагнитных полей и живых организмов. В научном плане принципиально и с большой эмоциональной силой прозвучал тезис о возможности влияния на биологические системы электромагнитных полей слабой или нетепловой интенсивности, которые в этом контексте приобретают смысл информационных сигналов.

В книге А.С. Пресманом была высказана также смелая по тому времени идея о том, что проявление биологических эффектов как реакции на воздействие низкоинтенсивных полей является привилегией сложно организованных биологических объектов, начиная с макромолекулярных ансамблей и выше. Позднее эта идея нашла блестящее экспериментальное подтверждение. Оригинальность идеи имела и большое методическое значение. Например, при экспериментальном исследовании биологических эффектов для описания механизмов возникающих реакций появляется естественное желание упростить исследуемый объект путём перехода, по существу, к фрагменту этого объекта либо его составной части. Однако при таком упрощении исследователь получает объект с совершенно другими свойствами и реакциями.

Идеи работы [1] получили оригинальное развитие в новой книге того же автора «Организация биосферы и ее космические связи» [2], которая увидела свет уже после его смерти. Книга подводит научные и философские итоги работ А.С. Пресмана, который на протяжении десятилетий занимался вопросами ин-

формационной роли электромагнитных полей и кибернетической структуры биосферы. В предисловии к книге сказано, что здесь «рассматривается информационно-кибернетическая концепция биосферы, объясняющая природу её эволюции, физические механизмы информационных потоков и принципы организации живого». Ключевой является идея автора, состоящая в том, что в самоорганизации живой материи, в пространственной организации живой природы, во временной её организации (синхронизации ритмов) основополагающую роль играет электромагнитное поле как носитель управляющих сигналов. Далее автор книги развивает мысль о том, что упорядоченность форм живых объектов в биосфере связана с пространственной организацией Космоса. Важнейшую роль в этих процессах играют электромагнитные поля фонового (реликтового) происхождения. В связи с этим небезынтересно отметить, что в соответствии с новейшими радиофизическими измерениями в астрономии максимум электромагнитного реликтового излучения приходится на миллиметровый диапазон длин волн.

Почти в это же время, когда была опубликована книга А.С. Пресмана, появились первые отечественные публикации по разработке эффективных источников электромагнитных колебаний в миллиметровом (ММ), или крайне высокочастотном (КВЧ), диапазоне и использовании этих волн слабой интенсивности в биологии и медицине [3,4]. Совпадение во времени этих двух событий имеет некоторый сакраментальный смысл, имея в виду важность роли слабых сигналов (в том числе, электромагнитных) в процессах жизнедеятельности. Пионерские работы по созданию источников ММ-излучения проводились у нас в стране под руководством академика Н.Д. Девяткова и профессора М.Б. Голанта [5,6]. Именно в этом частотном диапазоне были впервые получены фундаментальные экспериментальные результаты, иллюстрирующие

роль электромагнитных колебаний как информационных сигналов, используемых организмом в процессах жизнедеятельности [7,8]. Так возникло новое научное направление на стыке ряда научных дисциплин – радиоэлектроники, биофизики, медицины и др. В практическом плане это привело к становлению альтернативного метода лечения заболеваний человека и животных – ММ- или КВЧ-терапии.

Следующее важное событие, которое произошло в первые годы после выхода в свет книги А.С. Пресмана, связано с фундаментальными работами отечественных учёных Л. Х. Гаркави, Е.Б. Квакиной и М.А. Уколовой [9] в области разработки теоретических основ адаптационных реакций организма в ответ на слабые и средние по интенсивности внешние сигналы различной природы. Представления о неспецифической резистентности организма, разных адаптационных реакциях на внешние стимулы различной силы являются развитием и углублением работ канадского исследователя Г. Селье об адаптационной реакции стресса (реакции на раздражители большой силы) [10]. Эти работы позволяют с общих научных позиций подойти к изучению биологических эффектов слабых электромагнитных полей и корректно проводить исследования по изучению специфических и неспецифических реакций организма, вызываемых различными внешними стимулами. Надо отметить также то обстоятельство, что в последние годы были получены новые результаты, расширяющие наши представления о таких явлениях, которые широко обсуждаются и используются в физике живых систем, как когерентность, кумулятивность, кооперативность, стохастический резонанс, синергетика, динамический хаос, фрактальность и т.д. В первую очередь, необходимо отметить работы известного английского физика-теоретика Г. Фрёлиха о когерентных колебаниях в биологических системах, в частности о когерентных колебаниях плазматической мембраны живой клетки или её отдельных фрагментов (например, [11–13]), а

её отдельных фрагментов (например, [11–13]), а также работы Нобелевского лауреата И. Пригожина по исследованию открытых неравновесных систем, к которым относятся живые организмы (например, [14]).

Термин «информационное взаимодействие» применительно к проблеме воздействия слабых электромагнитных колебаний на биологические объекты был введён в научный обиход А. С. Пресманом [1]. Такое взаимодействие предполагает, как минимум, наличие «плато» на кривой зависимости «биологический эффект–мощность падающего излучения», а также отсутствие теплового эффекта при воздействии. Такой сигнал является, по определению, слабым или низкоинтенсивным, что типично для радиотехнических систем передачи информации в аналоговом или цифровом виде. Все эти условия в полном объёме выполняются при использовании низкоинтенсивных электромагнитных волн в миллиметровом (ММ) диапазоне длин волн.

В последнее время проблема слабых (информационных) сигналов в электромагнитобиологии становится особенно актуальной. Это связано с жесткими требованиями экологического характера и предельно допустимыми уровнями облучения лиц, работающих с электромагнитными колебаниями или попадающих под их воздействие. Немаловажным является и то обстоятельство, что сама по себе эта проблема очень привлекательна и с физической точки зрения. Повышенный интерес к проблеме слабых сигналов в электромагнитобиологии в последнее время в значительной степени простимулирован оригинальной работой Е. Б. Бурлаковой [15]. В этой пионерской работе обсуждаются вопросы терапевтической активности лекарственных препаратов при чрезвычайно слабых концентрациях, которые на несколько порядков (!) меньше общепринятых в фармацевтической практике, и сформулировано плодотворное положение об «эффекте (парадоксе) сверхмалых доз». Интересно,

что столь малые концентрации активных веществ существенно меньше концентраций, используемых даже в гомеопатической медицине.

Смысл «парадокса сверхмалых доз» можно пояснить с помощью рис. 1. Здесь показана качественная

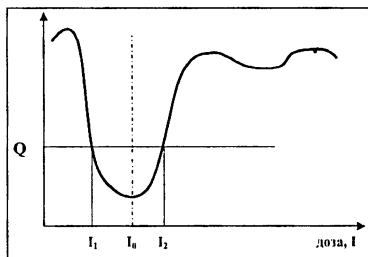


Рис. 1. Парадокс сверхмалых доз

зависимость биологического эффекта от дозы (величины, мощности) действующего на биологический объект внешнего стимула. Общепринятой считается такая зависимость, которая соответствует фрагменту кривой справа от вертикальной пунктирной

линии (см. рис. 1). Области слабых сигналов в рассматриваемом случае соответствует участок кривой, расположенный примерно между дозами I_0 и I_2 . Однако, как видно из рисунка, в рассматриваемом случае один и тот же биологический эффект (точка Q) может достигаться не только при дозе, соответствующей I_1 , но и при существенно меньшем значении дозы, соответствующей I_2 . Важным является то обстоятельство, что разница в дозах может составлять несколько (!) порядков. Заметим, что подобные эффекты были получены экспериментально при изучении биологических объектов различной степени организации – от живой клетки до целостных организмов животных и растений.

Проблема сверхмалых доз выходит далеко за рамки терапии лекарственными препаратами и имеет фундаментальное общепарадигматическое значение. Эта проблема прекрасно проанализирована в монографии Ю. П. Чуковой «Эффекты слабых воздействий» [16]. В книге на основании большого количества оригинальных публикаций автора развивается универсальный термодинамический подход к анализу воздействия слабых электромагнитных полей на различные

биологические структуры (в частности слабых полей в ММ-диапазоне длин волн). В заключительном разделе книги её автор пишет: «Термодинамическая теория неравновесных систем, взаимодействующих с электромагнитным излучением, позволила открыть область больших и неожиданных ресурсов живых тел, в том числе и человека. Эта область слабых воздействий». К этой проблеме мы вернёмся в разделе, когда будем обсуждать вопросы повышенной чувствительности биологических объектов к слабым внешним воздействиям.

К настоящему времени накопился большой экспериментальный и теоретический материал по биологическим эффектам ММ-волн (более трёх тысяч публикаций), который нуждается в осмыслении и обобщении. В настоящей книге предпринята попытка хотя бы частично восполнить этот пробел. Авторы надеются, что книга послужит стимулом для проведения более полных исследований в этой области, которая может быть названа как *миллиметровая электромагнитобиология*.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН

1.1. Шкала электромагнитных полей

Удобная для использования на практике классификация электромагнитных волн по частотам или длинам волн (шкала электромагнитных волн) представлена в табл. 1. Шкала начинается с частот, как угодно близких к нулю (или длин волн, близких к бесконечности) – сверхдлинных волн радиоволнового диапазона и заканчивается волнами с очень высокими частотами – γ -волнами (γ -излучением). Как видно из таблицы, электромагнитные поля практически всей шкалы находят применение не только в таких традиционных областях как радиосвязь, радиолокация, телевидение и т.д., но и в нетрадиционных областях, прежде всего в медицине и биологии.

Миллиметровые волны были освоены на практике в последнюю очередь, и шкала электромагнитных волн не стала содержать «белых пятен».

Миллиметровые (ММ) волны занимают диапазон длин волн в свободном пространстве $\lambda = 1...10$ мм, что соответствует диапазону частот $f = 300...30$ ГГц. Этот диапазон электромагнитных волн был освоен сравнительно недавно - в середине 60-х годов прошлого столетия. Честь освоения ММ-диапазона в значительной мере принадлежит российским учёным. В 1965 г. была опубликована работа [5], в которой сообщалось о разработке широкополосных генераторов с электрической перестройкой частоты. Это были знаменитые вакуумные лампы обратной волны с продольным магнитным полем (ЛОВ-О), разработанные в ведущем

Таблица 1. Шкала электромагнитных волн

Радиоволновый диапазон				Сверхвысочастотный диапазон (СВЧ)				Оптический диапазон			Диапазон ионизирующих излучений	
$\lambda > 1000$ м	$\lambda = 100-1000$ м	$\lambda = 10-100$ м	$\lambda = 1-10$ м	$\lambda = 10-100$ см	$\lambda = 1-10$ см	$\lambda = 1-10$ мм	$\lambda = 0,1-1$ мм	$\lambda = 100-0,76$ мкм	$\lambda = 0,76-0,4$ мкм	$\lambda = 400-10$ нм	$\lambda = 10-0,01$ нм	$\lambda = 0,01-0,0001$ нм
Сверхдлинные волны	Длинные волны	Средние волны	Короткие волны	Дециметровые волны	Сантиметровые волны	Миллиметровые волны	Субмиллиметровые волны	Инфракрасное излучение (ИК)	Видимое излучение	Ультрафиолетовое излучение	Рентгеновское излучение	Гамма-излучение
Этот диапазон давно и широко применяется в различных радиотехнических устройствах для передачи информации (радио, телевидение и др.). За ним утвердилось название "радиоволновый диапазон". Некоторых его участки используются для создания медицинской аппаратуры.				Техническое использование СВЧ-диапазона начало бурно развиваться во второй половине XX века в связи с развитием радиолокации, радиорелейных линий, спутниковых систем связи, систем управления, мобильных телефонов и др. Электронные приборы СВЧ дали возможность создавать медицинскую аппаратуру для диагностики и терапии многих заболеваний.				Эти виды излучения представляют значительный интерес для применения их в медицине, особенно после появления лазеров в ИК, видимом и УФ диапазонах спектра, а также с появлением ксеноновых излучателей и усовершенствованных ртутных ламп.			Радиационные или ионизирующие излучения являлись самыми первыми видами электромагнитных излучений, которые с конца XIX века начали применяться в медицине для диагностики и лечения злокачественных новообразований.	

научно-исследовательском институте электронной промышленности СССР – НИИ 160 (позднее ГНПП «Исток», а в настоящее время – ФГУП НПП «Исток», г. Фрязино, Московской обл.). Как уже указывалось выше, работы выполнялись под руководством выдающихся российских учёных в области СВЧ электроники – академика Н. Д. Девяткова и проф. М. Б. Голанта. Оригинальные конструкция и технология изготовления, а также совокупность технических параметров и в настоящее время определяют лидирующее положение в мире отечественных ЛОВ-О среди приборов этого класса. С помощью примерно двух десятков таких ламп, настроенных на различные средние частоты, можно перекрыть весь ММ- и субмиллиметровый (терагерцовый) диапазоны.

Выходная мощность генераторов составляет сотни милливатт вблизи длинноволнового края и единицы-десятки милливатт для коротковолнового края диапазона.

Конечно, до освоения в серийном производстве ЛОВ-О в ММ-диапазоне были известны и нашли применение на практике другие вакуумные приборы, такие, например, как магнетроны, отражательные клистроны, но все эти приборы были узкополосными и предназначались для работы на фиксированных частотах. полное перекрытие ММ-диапазона началось именно с ЛОВ-О.

Приборы ММ-диапазона сразу начали применяться в таких «классических» областях техники, как радиолокация, радионавигация, радиосвязь, радиоспектроскопия и т. д. Сравнительно новыми техническими областями применения ММ-волн являются локальные информационные системы (связь вне и внутри зданий), системы радиовидения, миллиметровая спектроскопия, дистанционные методы зондирования окружающей среды и некоторые другие [17].

Ниже мы рассмотрим новые перспективные области использования КВЧ-диапазона – в медицине и биологии.

1.2. Электромагнитные волны в электродинамических системах

Электромагнитная волна – это особая форма материи, представляющая собой сочетание зависящих от времени электрического (**E**) и магнитного (**B**) полей и существующих в пространстве в виде волны, свойства и параметры которой зависят от свойств среды распространения. Можно дать и такое определение электромагнитной волны: это возмущение электромагнитного поля, распространяющееся в пространстве и несущее с собой энергию и импульс без переноса вещества. Электромагнитные поля (ЭМП) являются физическим фактором среды, который оказывает существенное влияние на живые организмы различного уровня организации.

Наши глаза не способны видеть структуру электромагнитной волны, но если бы мы волну могли увидеть, то ее фрагмент (мгновенный снимок) выглядел бы так, как показано на рис. 2. Электрическое поле **E** и магнитное поле **B** являются векторными величинами и изменяются в пространстве по синусоидальному закону. Обратим внимание на то обстоятельство, что электрическое и магнитное поля лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях. Период такой волны обозначается буквой λ_0 .

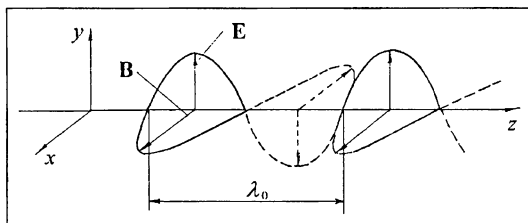


Рис. 2. Плоская электромагнитная волна

Если зафиксировать внимание в какой-либо точке пространства, то можно было бы получить снимок

волны в зависимости от времени, только на этом рисунке вместо координаты z надо подставить текущее значение времени t , а вместо λ_0 – период колебания во времени T_0 .

В математической форме это можно представить следующим образом. В случае плоской волны, распространяющейся в направлении z , изменение во времени и пространстве вектора **A** (в нашем случае – это **E** или **B**) происходит по закону:

$$\mathbf{A} = A_0 \sin(\omega t - kz) = A_0 \sin(2\pi t / T_0 - 2\pi z / \lambda_0),$$

где A_0 – амплитуда вектора; ω – круговая частота колебания, равная, по определению, $2\pi / T_0$; k – волновое число, равное, по определению, $2\pi / \lambda_0$.

Таким образом, если λ_0 характеризует период колебания в пространстве, то T_0 – период колебания во времени. Обычная частота колебания f связана с периодом T_0 соотношением $f = 1 / T_0$. Частота f характеризует число колебаний в единицу времени (секунду) величин **E** и **B**.

Скорость распространения электромагнитной волны V в направлении z определяется из очевидного соотношения, как путь, пройденный волной за время, равное периоду колебания:

$$V = \lambda_0 / T_0 = \lambda_0 f.$$

В свободном пространстве (в вакууме или в воздушной атмосфере) скорость электромагнитной волны составляет примерно 300 тысяч километров в секунду. Мы знакомы с этой величиной и знаем её как скорость света C . Таким образом, электромагнитные волны распространяются в воздушном пространстве со скоростью света, а свет, как хорошо известно, является электромагнитной волной.

Вычисление длины волны по заданной частоте и обратную операцию в КВЧ-диапазоне легко выполнить по формуле, полученной из приведенного выше выражения для V :

$$\lambda_0 \text{ (мм)} f \text{ (ГГц)} = 300.$$

Следует обратить внимание на то, что при переходе электромагнитной волны из одной среды в другую (например, в биологическую ткань при облучении организма) частота колебания, естественно, сохраняется, а длина волны изменяется.

Здесь надо рассмотреть две ситуации. Если волна проникает в какую-либо среду (например, в биологическую ткань), то длина волны в этой среде равна: $\lambda_{\text{ср}} = \lambda_0 \sqrt{\epsilon}$, где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды. В миллиметровом диапазоне, например, для длины волны $\lambda_0 = 5$ мм (этой длине волны соответствует частота $f = 60$ ГГц) и $\epsilon = 25$ значение $\lambda_{\text{ср}} = 1$ мм. Следовательно, длина электромагнитной волны в биологической ткани всегда меньше длины электромагнитной волны в воздушном пространстве при неизменном значении частоты колебания.

Совсем другая картина получается, если электромагнитная волна распространяется по металлическому волноводу [18]. Такие волноводы обычно используются в КВЧ-приборах для медицинского применения или в радиотехнических устройствах. Примеры таких волноводов показаны на рис. 2–4 для прямоугольного, круглого и коаксиального сечений.

При переходе электромагнитной волны из свободного пространства в ограниченный внешними размерами волновод структура волны, то есть форма электрического и магнитного поля, меняются. Распределение полей совершенно отличается от картины, показанной на рис. 2. При одной и той же частоте колебаний структура полей волны в волноводe зависит от его геометрических размеров. Это хорошо видно из приведенных ниже рисунков.

В каждом волноводe при его возбуждении на одной частоте может распространяться много типов волн, отличающихся друг от друга взаимным расположением электрических и магнитных силовых линий, но имеющих различную структуру. На рис. 3–5 показаны главные или основные типы волн, на которых «рабо-

тают» волноводы: для прямоугольного волновода эта волна обозначается как H_{10} , для круглого волновода – H_{01} , а для коаксиального – $ТЕМ$. При проведении экспериментов, особенно с микроорганизмами, надо обратить внимание на то, что в случае прямоугольного волновода максимум электрического поля волны H_{10} (рис. 3) приходится на середину широкой стенки волновода, уменьшаясь постепенно к нулю вблизи его узких стенок. При использовании круглого волновода необходимо обратить внимание на следующую особенность волны типа H_{01} (рис. 4). Силовые линии электрического поля имеют вид концентрических окружностей, и максимум электрического поля не приходится на центральную часть сечения волновода, а расположен между внутренней стенкой волновода и его осью.

Самая удивительная особенность волн в таких волноведущих системах состоит в том, что длина волны в них λ_B всегда больше длины волны в свободном пространстве λ_0 (исключение составляет волна $ТЕМ$ для коаксиального волновода): $\lambda_B > \lambda_0$. В коаксиальном волноводе длина волны λ_B равна λ_0 .

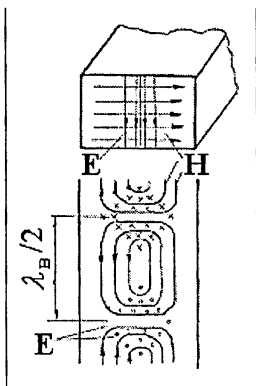


Рис. 3. Распределение электромагнитной волны типа H_{10} в прямоугольном волноводе

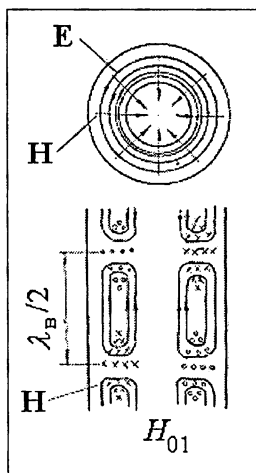


Рис. 4. Распределение электромагнитной волны типа H_{01} в круглом волноводе

Назовем еще несколько особенностей волн, распространяющихся по металлическим волноводам. В этих волноводах вместо скорости волны в свободном пространстве $V = C$ необходимо ввести две скорости: фазовую скорость V_ϕ и групповую скорость $V_{гр}$. Фазовая скорость характеризует скорость распространения фазы волны (фронта волны) и V_ϕ всегда больше скорости света, $V_\phi > C$. Групповая скорость характеризует скорость распространения энергии волны, и она всегда меньше скорости света, $V_{гр} < C$.

Скорости различных типов волн в волноводах различны при одной и той же частоте колебаний. Таким образом, в металлических волноводах мы сталкиваемся с любопытной ситуацией. Допустим, волна из воздуха переходит в металлический волновод. Она сразу «рассыпается» на несколько типов волн, распространяющихся по волноводу с разными скоростями. Из этого с очевидностью следует, что в случае протяженных волноводов сигнал на выходе будет «размазываться», т.е. по мере распространения в волноводe форма электромагнитного «портрета» волны будет искажаться. Исключение существует только для волны типа TEM в коаксиальной линии, показанной на рис. 5. Имеет место и обратная картина: если волна переходит из волновода в свободное пространство, то на некотором расстоянии от волновода она приобретает структуру, типичную для свободного пространства (см. рис. 2).

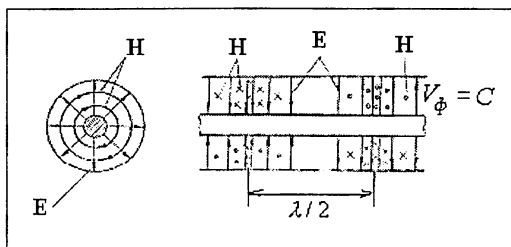


Рис. 5. Волна типа TEM в коаксиальном волноводe

Еще одна особенность металлических волноводов (кроме коаксиальных) состоит в том, что в волноводах могут распространяться только такие волны, частоты f которых больше некоторого значения, названного критическим значением частоты $f_{кр}$, причём $f_{кр}$ полностью определяется геометрическими размерами волновода: $f > f_{кр}$ (или $\lambda_0 < \lambda_{кр}$, где $\lambda_{кр}$ – критическая длина волны).

При проведении экспериментов надо обращать также внимание на расположение максимума электрического или магнитного поля волны в сечении волновода. Для волновода прямоугольного сечения, как уже указывалось, максимум волны основного (низшего) типа располагается в середине широкой стенки волновода, а электрические и магнитные силовые линии всегда взаимно перпендикулярны. Для волны, бегущей по волноводу, максимумы электрического и магнитного полей лежат в одной поперечной плоскости.

Если металлический волновод закоротить с двух сторон, то в таком волноводе будет иметь место биение электромагнитной волны (стоячие электромагнитные волны), а максимумы электрического и магнитного полей раздвигаются в продольном направлении на четвертую часть длины волны в волноводе. Здесь мы имеем дело уже не с волноведущей системой, а с электромагнитным колебательным (резонансным) контуром – объемным резонатором. Пример такого резонатора показан на рис. 6 для случая коаксиальной линии.

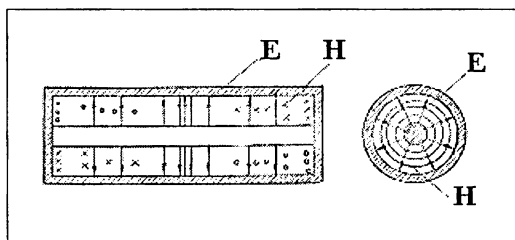


Рис. 6. Коаксиальный полуволновой резонатор

Характер взаимодействия электромагнитной волны со средой зависит от физических параметров этой среды: проводимости, диэлектрической проницаемости, магнитной восприимчивости и др. На электрическую составляющую поля волны реагируют свободные электрические заряды среды и полярные молекулы. Если в среде имеются молекулы или атомы с явно выраженными магнитными свойствами (например, частицы магнитных материалов, а также направленные потоки свободных электрических зарядов), то в этом случае интенсивное взаимодействие будет происходить с магнитной составляющей электромагнитной волны.

На практике обычно наблюдается взаимодействие физического объекта (например, кожи человека) с электрической составляющей поля электромагнитной волны). Это связано с тем, что в соответствии с формулой Лоренца сила, обусловленная действием магнитной составляющей электромагнитной волны на электрически заряженные частицы, оказывается значительно меньше силы, обусловленной электрической составляющей электромагнитной волны. Это видно из следующего соотношения [18]:

$$F_H / F_E \ll V_c / C,$$

где F_H – сила Лоренца, обусловленная магнитной составляющей волны; F_E – сила, обусловленная электрической составляющей волны; V_c – скорость заряженной частицы; C – скорость света (на практике $V_c \ll C$).

До сих пор мы подразумевали, что речь идет о непрерывных (синусоидальных) колебаниях. В медико-биологических исследованиях находят применение также шумовые и импульсные колебания. Например, в экспериментах с цианобактериями (сине-зелеными водорослями) и микроводорослями, а также в экспериментах с животными, наряду с непрерывными (синусоидальным) колебанием, нашли применение и другие виды сигналов с использованием различных видов модуляции, в том числе короткие радиоимпуль-

сы с большой пиковой мощностью. В последнем случае основными параметрами сигнала являются длительность импульсов и период их повторения T . Формы различных электромагнитных сигналов качественно показаны на рис. 7.

В экспериментах с цианобактериями (сине-зелеными водорослями) и микроводорослями используются, в основном, два вида установок, показанных на рис. 8 и 9.

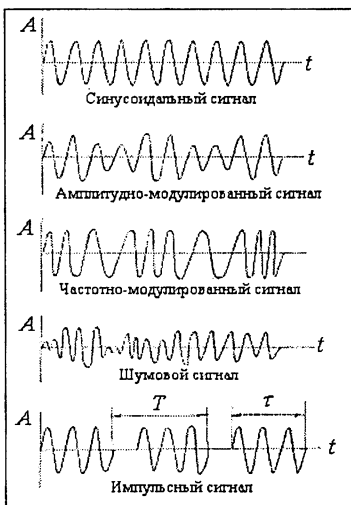


Рис. 7. Виды радиосигналов

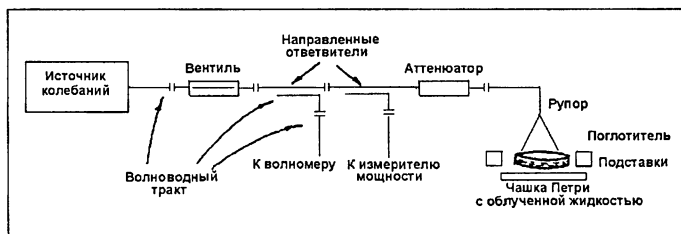


Рис. 8. Пример экспериментальной установки в КВЧ-диапазоне

В установках с непрерывными колебаниями (рис. 8) в качестве источника электромагнитных волн применяется широкополосный генератор Г4-141 (37,5–53, 57 ГГц) или Г4-142 (53,57–78,33 ГГц) с выходной мощностью около 10 мВт/см². В этих генераторах в качестве активного элемента используются упомянутые выше лампы обратной волны.

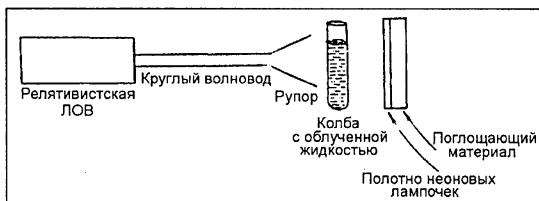


Рис. 9. Схема экспериментальной установки с использованием релятивистской ЛОВ-0

Установка с применением импульсных колебаний (рис. 9) является совершенно уникальной. Генерация коротких электромагнитных импульсов происходит в релятивистской лампе обратной волны. В этом устройстве используется холодный катод, эмиссия электронов с которого ($I \sim 1,5$ кА) достигается за счет сверхвысоких напряжений ($U \sim 300$ кВ). Длительность генерируемых импульсов составляет всего $\tau = 15$ нс, а пауза между импульсами $T = 30$ с. Например, при частот генерируемых колебаний ~ 10 ГГц ($\lambda = 3$ см) мощность генерации в импульсе достигает 50 МВт, а в ММ-диапазоне, например, при $\lambda = 8$ мм мощность излучения равна 4 МВт. Для этих случаев энергия в импульсе равна примерно 0,75 Дж. Несмотря на большую пиковую мощность, нагрев наблюдаемого образца не происходит, так как слишком малой является длительность импульса при достаточно большом периоде следования импульсов, $T_0 = 30$ с. В волноводном тракте электрическая напряженность поля волны достигает больших значений – примерно 30–70 кВ/см, сравнимых с величиной естественной напряженности статического поля на нативных плазматических мембранах клеток ($E \sim 100$ кВ/см). Следовательно, в этом случае биологический эффект может быть обусловлен не только и не столько частотой заполнения импульса, но и большим импульсным значением электрического поля электромагнитной волны. Для сравнения отметим, что в экспериментальных установках низ-

кого уровня мощности при мощности волны в волноводном тракте порядка 20 мВт добавочная напряженность электрического поля на мембране живой клетки, помещенной в максимум поля, может достигать всего ~ 1 В/см.

1.3. Искусственные и естественные источники электромагнитных полей

В 1832 г. великий английский физик М. Фарадей, так много сделавший для изучения электрических и магнитных явлений, высказал в своих научных дневниках интуитивное предположение о том, что электрическое и магнитное поля могут существовать как единое поле, например, в форме волнового процесса.

Проходит 32 года и другой английский физик-теоретик Дж. Максвелл, обобщивший огромный экспериментальный материал М. Фарадея, на заседании Лондонского Королевского общества докладывает о своих новых уравнениях (уравнения Максвелла), из которых с очевидностью следовало, что такая электромагнитная волна может существовать. Говорят, что один из членов Королевского общества спросил Дж. Максвелла:

«Зачем нужны Ваши электромагнитные волны?»

«Не знаю – ответил Максвелл, – быть может когда-нибудь на основе этих волн будут делать игрушки».

В числе первых великое открытие Дж. Максвелла оценил знаменитый немецкий физик, основатель квантовой механики М. Планк, выразив свою мысль следующим образом: «На долю Максвелла выпал такой успех, который мы должны причислить к наиболее удивительным деяниям человеческого духа. Ему удалось выманить у природы в результате одного лишь чистого мышления такие тайны, которые лишь спустя целое поколение и лишь частично удалось показать в остроумных и трудоемких опытах».

Электромагнитные волны экспериментально были открыты немецким физиком Г. Герцем в 1888 г. (именем которого названа единица частоты – Герц). Так началась новая эра в истории человеческой цивилизации.

У электромагнитных волн как материальной субстанции есть один существенный «недостаток»: их нельзя пощупать, их не слышно, они не имеют запаха, их не видно (лишь в видимой части оптического диапазона электромагнитные волны позволяют человеку видеть, ориентироваться в пространстве, восхищаться окружающим миром).

Как же возникают электромагнитные волны? В соответствии с основным физическим законом электромагнитные волны возникают всегда, когда электрические заряды движутся с переменной скоростью (ускорением). Излучением электромагнитных волн сопровождается переход электронов в атомах и молекулах с одной энергетической орбиты на другую, причем это может происходить не только при внешнем воздействии другого электромагнитного поля, но и при больших температурах. Именно нагрев в спиралях электрических ламп лежит в основе генерации электромагнитных волн в видимом и инфракрасном диапазоне. Микроволновая генерация электромагнитных волн Солнцем обязана также очень высоким температурам в глубине и на поверхности Солнца.

В электронных приборах СВЧ генерация электромагнитных волн связана с движением большого количества электронов (электронных сгустков) в тормозящем электрическом поле. Есть еще ряд интересных физических принципов, которые приводят к генерации электромагнитных волн, но мы сейчас не будем на этом останавливаться.

В миллиметровом диапазоне длин волн для генерации используются либо вакуумные, либо полупроводниковые (твердотельные) приборы.

Большим успехом в освоении КВЧ-диапазона явилась разработка вакуумных генераторов когерентного

излучения, таких, например, как магнетроны (1936 г.) и отражательные клистроны (начиная с 1948 г.), работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Следует заметить, что подобные приборы и сейчас занимают значительное место в арсенале генераторов КВЧ-диапазона. По принципу действия эти приборы являются узкополосными и предназначены для работы на фиксированных (средних) частотах.

Однако полное освоение КВЧ-диапазона состоялось в середине шестидесятых годов прошлого века. В 1965 г. появились публикации советских (российских) учёных (см., например, [5]), в которых сообщалось о разработке широкополосных генераторов ММ-диапазона. В этих генераторах частота генерации перестраивалась путём изменения напряжения на одном из управляющих электродов прибора (лампы) и использовалось взаимодействие электронного потока с обратной волной замедляющей системы. Речь идёт о знаменитых отечественных лампах обратной волны с продольным магнитным полем (ЛОВ-О) [5]. Эти ЛОВ-О нашли широкое применение в измерительной аппаратуре (генераторы стандартных сигналов типа Г4-141, 142 и др.), а также в медико-биологических экспериментах.

Наряду с вакуумными приборами, большое применение на практике нашли также полупроводниковые приборы КВЧ-диапазона. Среди таких приборов в первую очередь надо назвать маломощные генераторы на основе лавинно-пролётных диодов, диодов Ганна, а также полевых транзисторов. Эти приборы имеют выходную мощность порядка десятков-сотен милливатт.

Заканчивая рассмотрение маломощных приборов, можно упомянуть ещё один генератор ММ-волн с очень низким уровнем мощности (существенно меньше микроватта), который работает в условиях низкотемпературной сверхпроводимости. Принцип работы прибора основан на использовании нестационарного эффекта

Джозефсона: изменяя напряжение, прикладываемое к переходу Джозефсона, можно менять частоту генерации в соответствии с выражением $2eU = h\nu$, где e – заряд электрона; U – напряжение; h – постоянная Планка; ν – частота генерации. Джозефсоновские генераторы находят применение в разработке высокочувствительных приёмников, используемых в радиоастрономии [17].

До сих пор мы рассматривали генераторы малой или средней мощности. Большие значения выходной мощности достигаются в приборах, отличительной особенностью которых является использование открытых резонаторов с целью увеличения пространства взаимодействия и при одновременном обеспечении высокой монохроматической генерации. К числу таких приборов относятся оротроны (генераторы дифракционного излучения). С помощью таких приборов удаётся получать выходную мощность в непрерывном режиме порядка единиц и десятков кВт в импульсном режиме.

Существенное повышение мощности генераторов ММ-диапазона стало возможным при развитии методов релятивистской высокочастотной электроники. Для этого используются не только высокие напряжения, но и сильноточные электронные пучки, причем в ряде случаев в качестве эмиттеров электронов приходится применять электронные ускорители. Это новое направление в области электроники СВЧ возникло у нас в стране в шестидесятые годы прошлого века и успешно развивается в настоящее время (нижегородская научная школа, руководимая академиком РАН А. В. Гапоновым–Греховым).

К настоящему времени существует большое разнообразие приборов в КВЧ-диапазоне: гиротроны, лазеры на свободных электронах, мазеры на циклотронном резонансе (МЦР), релятивистские черенковские генераторы (ЛОВ-О или карцинотроны, многоволновые черенковские генераторы) и т. д. Продвижению в коротко-

волновую часть ММ-диапазона способствовала разработка эффективных умножителей частоты. Большинство релятивистских приборов работают в импульсном режиме - от единиц наносекунд до нескольких микросекунд. Это связано не только с проблемами теплоотвода, но и с условиями формирования сильнооточных электронных пучков при использовании безнакальных автоэмиссионных катодов (в частности, с взрывной эмиссией), а также с необходимостью обеспечения одностотной генерации при протяженных пространствах взаимодействия и «толстых» электронных пучков. Пиковая мощность в релятивистских приборах может достигать единиц ГВт (десятков МВт во всём ММ-диапазоне при наносекундных длительностях) и сотен кВт при микросекундных длительностях импульсов. В непрерывном режиме работы релятивистские генераторы обеспечивают выходную мощность до единиц-десятков кВт. Такие большие значения выходной мощности находят применение не только в традиционных областях (как радиолокация или радионавигация), но и в медико-биологических экспериментах (см. раздел 3). Мощность релятивистских генераторов может быть повышена при использовании методов пассивной или активной компрессии. Дальнейшее повышение импульсной мощности до гигаваттного и тераваттного уровней может быть связано с устройствами, в которых химическая энергия взрывчатых веществ преобразуется в когерентное электромагнитное излучение ([53], с. 1759).

Помимо специальных генераторов электромагнитных волн существует большое количество и других антропогенных источников ЭМП. Значительный вклад в электромагнитный фон Земли вносят передающие устройства (коммерческие передатчики, радиотелефоны, направленные спутниковые и радиорелейные линии, локационные станции), технологическое оборудование, медицинские терапевтические и диагностические установки, бытовое оборудование, средства визуального отображения информации (те-

левизоры, мониторы персональных компьютеров) и др. Следует учитывать также электромагнитное излучение линий электропередач, сварочного оборудования и т.д.

Выше мы рассмотрели основные искусственные источники электромагнитных волн в ММ-диапазоне. Естественный электромагнитный фон, в том числе в КВЧ-диапазоне, в биосфере определяется излучением Солнца и других космических тел, а также излучением атмосферы Земли и всех окружающих нас тел. Самым мощным естественным источником электромагнитных волн на Земле является ближайшее к нам светило (звезда-карлик Солнце).

Жизнь на Земле была бы невозможна без электромагнитного излучения Солнца. Все живое, в том числе и человек, обязаны своим происхождением и поддержанием жизненных процессов именно электромагнитному излучению этого светила.

Солнце – это гигантский ядерный котел. Температура его поверхности составляет порядка 6000 К, а в центре – примерно $1,6 \cdot 10^7$ К (такая температура может поддерживаться только ядерными реакциями синтеза гелия и водорода – как основного источника электромагнитной энергии Солнца). По закону излучения Планка основная энергия приходится на рентгеновский диапазон. Излучение от Солнца к внешнему наблюдателю формируется в тонком слое – фотосфере, имеющей толщину приблизительно 0,15 км. Это почти абсолютно черное тело с температурой ~6000 К. В спектре Солнца наблюдаются почти 30 000 спектральных линий более чем 70 химических элементов из периодической таблицы Менделеева.

Почти вся энергия электромагнитного излучения Солнца заключена в интервале длин волн от 1500 \AA до 5 мм. Излучение в радио и рентгеновском диапазонах зависит от солнечной активности, увеличиваясь или уменьшаясь в течение 11-летнего цикла, и заметно возрастает при вспышках на Солнце.

Какую суммарную мощность электромагнитных волн излучает наше светило? Излучающая способность Солнца (солнечная постоянная) - это интегральный поток солнечного излучения, проходящий через единичную поверхность (площадку, перпендикулярную направлению лучей за пределами земной атмосферы) при среднем расстоянии Земли от Солнца, равном $\sim 1,5 \cdot 10^8$ км. По внеатмосферным измерениям солнечная постоянная составляет $S_0 = 1,4$ кВт/м².

Пользоваться этой формулой при оценке электромагнитного излучения телом человека, конечно, нельзя: разница оказывается очень большой. Действительно, если выбрать на теле человека единичную площадку, равную по площади 1 см², и предположить, что в пределах этой площадки температура не меняется и равна 36,6°C, т. е. 309,6 К, то нетрудно получить мощность $W = 0,533$ Вт(!). Если же воспользоваться «правильной» формулой и данными работы [19], относительно неравномерности распределения температуры по поверхности тела взрослого человека (при площади кожной поверхности, равной примерно 2 м²), то можно получить суммарную величину электромагнитной мощности, излучаемую телом человека, которая окажется близкой к 100 Вт (в пересчёте на 1 см² получим примерно 0,005 Вт или 5 мВт).

Человеческий организм состоит из огромного количества свободных и связанных зарядов, причем хаотичное движение свободных зарядов достаточно велико, то не приходится удивляться, что тело человека излучает в широком диапазоне частот достаточно большую суммарную мощность, близкую к 100 Вт.

Нетрудно подсчитать по формуле Эйнштейна $E = mc^2$ (E – энергия; m – масса; c – скорость света), сколько своей энергии расходует Солнце за единицу времени. Простые расчеты показывают: Солнце каждую секунду тратит на излучение электромагнитной энергии более 4 млн. тонн своей массы.

Эту энергию Солнце излучает почти по всей шкале электромагнитных волн. На широте Москвы, летом, в ясный день, на единичную площадку Земли размером метр на метр приходится примерно 1 кВт интегральной электромагнитной мощности Солнца. Это тоже очень солидная величина. Максимумы этого излучения приходятся на видимый, инфракрасный и ультрафиолетовый диапазоны длин волн.

Максимум излучения Солнца приходится на видимую часть спектра ($\lambda = 0,46$ мк), причём на долю радиодиапазона приходится менее 1% от полной мощности.

Какую мощность излучает Солнце в ММ-диапазоне у поверхности Земли? В этом диапазоне излучение Солнца хорошо описывается законом Рэлея-Джинса. При эффективной температуре Солнца, равной 5500...8000 К, и при $\lambda = 7$ мм (в полосе частот 100 МГц) спектральная плотность излучения составляет примерно 10^{-12} мВт/см². Спектральная плотность излучения Солнца примерно на 13 дБ превышает собственное излучение атмосферы. Интересно, что ММ-волны в значительной степени определяют особенности реликтового излучения, и максимум этого излучения находится вблизи при $\lambda = 3$ мм.

Электромагнитные (тепловые) волны излучает и сам человек.

В физике давно установлено, что любое материальное тело, находящееся при температуре $T \neq 0$ (по шкале Кельвина) излучает электромагнитные волны. Академик С.И. Вавилов писал: «На земле все теплое и поэтому все светится видимыми или невидимыми лучами, светится и сам человек». Это излучение связано с тепловым движением атомов и молекул. Такое излучение является чисто тепловым, если оно находится в термодинамическом равновесии только со своим излучением (когда, например, не учитываются такие процессы излучения как фотолюминесценция, хемилюминесценция и др.).

Таким образом, всякое тело испускает тепловое излучение, и его спектр частот является сплошным, а распределение энергии по частотам зависит от температуры тела. Уже в 1835 г. французский физик Ампер высказал мысль, что световые и тепловые лучи имеют одинаковую природу – электромагнитную, и это предположение впоследствии было неоднократно и блестяще подтверждено в экспериментах ряда известных ученых.

При обычных (низких) температурах это электромагнитное излучение представлено на шкале частот в основном радио (включая СВЧ) и инфракрасными волнами. С повышением температуры начинает расти доля видимых и ультрафиолетовых лучей. Не вдаваясь в подробности, рассмотрим несколько формул из теории теплового излучения для того, чтобы привести численные оценки, которые могут быть полезными впоследствии.

Зависимость спектральной плотности теплового излучения от температуры определяется формулой М. Планка. Не будем выписывать эту формулу в виду её громоздкости, а воспользуемся лишь некоторыми следствиями из нее, хорошо известными в физике.

Мощность (в ваттах), излучаемая абсолютно черным телом (телом, поглощающим всю падающую на него мощность), можно подсчитать по формуле Стефана Больцмана, из которой видно, что эта мощность сильно зависит от температуры (в четвертой степени):

$$W = \sigma \cdot T^4 ,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{12}$ Вт. см⁻².град⁻⁴ ; T – температура по шкале Кельвина.

Из формулы М. Планка следует, что доля ИК излучения от полного электромагнитного излучения человека составляет примерно 25%. Если воспользоваться данными работы [19], относительно неравномерности распределения температуры по поверхности тела взрослого человека (при площади кожной

поверхности, равной примерно 2 м^2), то можно получить суммарную величину электромагнитной мощности, излучаемую телом человека, которая окажется близкой к 100 Вт , о чем мы уже упоминали выше.

Человеческий организм состоит из огромного количества свободных и связанных зарядов, причем хаотичное движение свободных зарядов достаточно велико, то не приходится удивляться, что тело человека излучает в широком диапазоне частот достаточно большую суммарную мощность, близкую к 100 Вт .

Какую мощность излучает тело взрослого человека в ММ-диапазоне длин волн?

При комнатной температуре и $\lambda = 8 \text{ мм}$ в полосе частот 100 МГц за время $t = 1 \text{ с}$ при коэффициенте отражения волны на границе «кожа-воздух», равном $0,5$, собственное излучение составляет с площади 1 см^2 $10^{-14} \text{ мВт/см}^2$. С учетом общей площади кожи взрослого человека ($\approx 2 \text{ м}^2$) полная мощность излучения при $\lambda = 8 \text{ мм}$ равна 10^{-8} мВт . Это составляет ничтожную долю от полной мощности электромагнитных волн, излучаемых телом взрослого человека.

Из другого закона (закона смещения Вина), также являющегося следствием фундаментальной формулы М. Планка, можно найти длину волны электромагнитного излучения, для которой мощность будет максимальной, если знать только значение температуры T :

$$\lambda = K/T,$$

где $K = 2897 \text{ мкм/град}$.

Для выбранной нами температуры тела человека $36,6^\circ\text{C}$ оказывается, что $\lambda = 9,4 \text{ мкм}$, то есть эта длина волны лежит в ИК-области.

Теперь становится понятным, что, измеряя с помощью специальных радиоприемников (радиометров) собственное электромагнитное излучение тела человека в разных областях, можно ставить диагноз заболевания, если, конечно, предположить, что заболева-

ние любого органа человека сопровождается изменением его температуры (а это действительно так). Как будет показано в разделе 3, тепловая диагностика в ИК-области (ИК-тепловидение) или радиотермография (в области радиодиапазона) являются эффективными диагностическими методами и широко используются в медицине.

Из приведенного выше материала действительно можно сделать вывод о том, что все живое на Земле буквально «купается» в «волнопаде» – в электромагнитных полях и волнах. Конечно, в процессе эволюции жизни электромагнитные волны не только оказывали воздействие на формирование живых существ, но и оказались включены в процессы их жизнедеятельности в той или иной форме (в частности, в виде биоритмов). Для иллюстрации можно привести целый ряд наглядных примеров. Основные биоритмологические процессы человека имеют суточную и сезонную ритмику. Можно предположить также, что аритм в электроэнцефалограмме есть отражение так называемых «шумановских» резонансов, связанных с земной ионосферой. И таких примеров можно привести множество [19, 20].

Итак, все живое на Земле постоянно находится под воздействием электромагнитных волн космического и техногенного происхождения. Живые существа также излучают электромагнитные волны. Излучение таких волн, например, человеком, связано с беспорядочным движением огромного количества различных электрических зарядов. Подтверждением именно беспорядочного движения зарядов в теле человека является сплошной характер электромагнитного спектра, и никому до сих пор еще не удавалось зарегистрировать в этом спектре дискретные составляющие, которые свидетельствовали бы о наличии хотя бы слабовыраженного сфазированного (согласованного) движения электрических зарядов, как это имеет место в любом генераторе или усилителе СВЧ.

Беспорядочное движение электрических зарядов в теле человека связано буквально со всеми метаболическими процессами, поэтому можно высказать предположение, что нарушения, возникающие в этих процессах в результате воздействия каких-либо патогенных факторов, также находят отражение в спектре генерируемых человеком электромагнитных волн.

Несмотря на ничтожное значение мощности естественного электромагнитного фона в КВЧ-диапазоне, ММ-волны несут большую информацию об окружающем нас мире и находят применение в различных областях знаний, например, в радионавигации и медицине.

Представляет академический интерес кратко рассмотреть излучательную способность Солнца в ММ-диапазоне до, во время и после исчезновения солнечных пятен. Такое исследование было проведено с помощью радиотелескопа МГТУ им. Баумана в Дмитровском районе Московской области [21]. На рис. 10 показаны линии одинаковой мощности ММ-излучения на $\lambda = 2$ мм до (а) во время (б) и после (в) исчезновения солнечного пятна. Как видно из рисунка, появление пятна на Солнце сильно влияет на процесс излучения ММ-волн.

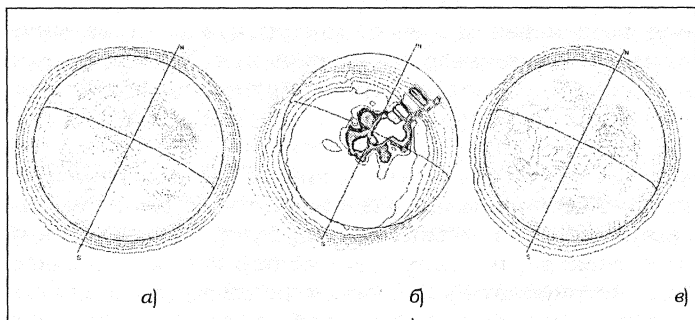


Рис. 10. Излучение Солнца в ММ-диапазоне до (а), во время (б) и после исчезновения (в) солнечных пятен

1.4. Физические и биотропные параметры электромагнитных полей

Рассмотрим кратко основные физические особенности ММ-волн [19]. Эти волны относятся к неионизирующим излучениям. Квант энергии в этом диапазоне $h\nu$ меньше энергии теплового движения атомов или молекул kT . Для $\lambda = 1$ мм имеем $h\nu = 1,17 \cdot 10^{-3}$ эВ, тогда как $kT = 2,53 \cdot 10^{-2}$ эВ (для комнатной температуры). Энергия кванта в КВЧ-диапазоне существенно меньше энергии электронных переходов ($1 \dots 20$ эВ), энергии активации ($\sim 0,2$ эВ), а также колебательной энергии молекул ($10^{-2} \dots 10^{-1}$ эВ), энергии водородных связей ($2 \cdot 10^{-2} \dots 10^{-1}$ эВ). Ниже энергии КВЧ-кванта оказываются энергия вращения молекул вокруг связей ($10^{-4} \dots 10^{-3}$ эВ), энергия куперовских пар при сверхпроводимости ($10^{-6} \dots 10^{-4}$ эВ) и энергия магнитного упорядочения ($10^{-8} \dots 10^{-4}$ эВ) [19]. Следовательно, ММ-волны могут воздействовать на вращательные степени свободы молекул и влиять на их конформационные состояния. Это обстоятельство является существенным, например, при изучении распространения ММ-волн в различных средах (в частности, в атмосфере), а также при анализе медико-биологических экспериментов.

Вода в жидком и парообразном состоянии, а также водные растворы являются самыми сильными поглотителями ММ-волн. Например, миллиметровый слой воды ослабляет КВЧ-излучение примерно в 100 раз при $\lambda = 8$ мм и 10 000 раз при $\lambda = 2$ мм. Этот факт играет существенную роль не только при исследовании распространения ММ-волн в атмосфере, но и при объяснении биофизических механизмов взаимодействия волн ММ-волн с живыми организмами.

При взаимодействии КВЧ-излучения с различными объектами (особенно это относится к биологическим объектам) длина волны в среде $\lambda_c = \lambda \sqrt{\varepsilon}$ (где ε – диэлек-

трическая проницаемость среды) оказывается сравнимой с характерными размерами неоднородностей в этой среде. В этом случае наряду с зеркальным и диффузным имеет место и резонансное рассеяние волн, которое в значительной степени определяет частотные характеристики взаимодействия.

Важной особенностью ММ-волн является их малая расходимость при распространении в воздушной среде, что повышает помехозащищённость каналов связи и позволяет использовать большое их количество в ограниченном пространстве без создания взаимных помех. Эти волны, обладая большим разрешением по углу места и дальности, могут обеспечить высокую скрытность передачи при небольших габаритах приёмо-передающей аппаратуры. Наконец, существенным достоинством волн КВЧ-диапазона по сравнению с более длинноволновыми диапазонами является большая пропускная способность, что позволяет передавать по одному каналу связи большое количество информации.

Особенности ЭМП как физического фактора внешней среды при исследовании биологических эффектов состоит в том, что их *биотропные параметры*, такие, как частота, интенсивность, форма сигнала, локализация воздействия, экспозиция, градиент, направленность векторов электрического и магнитного полей, играют определяющую роль. А изменение любого из этих параметров при постоянстве остальных может в значительной степени изменять реакции биологических систем на внешнее электромагнитное воздействие.

1.5. Чувствительность биологических объектов к слабым электромагнитным полям

Для несведущих людей покажется диковинным, что и человек излучает большое количество электромагнитной энергии - порядка 100 Вт (как хорошая лампа накаливания). Эта суммарная мощность неравномерно

распределена по шкале электромагнитных волн, и, как известно, максимум излучения приходится на инфракрасные волны (см. 2.3).

Пожалуй, никто лучше А.А. Чижевского не осознавал роли электромагнитных волн в процессах жизнедеятельности. Давайте спокойно и вдумчиво прочитаем его высказывания из замечательной книги «Земное эхо солнечных бурь» [20]:

«Современный биолог имеет веские мотивы утверждать, что жизнедеятельность растительных и животных организмов стоит в известной зависимости от разных метеорологических явлений, одно из первых мест среди которых современная наука отводит электрическим феноменам; поскольку электрические, магнитные и электромагнитные явления в земной коре и ее атмосфере стоят в теснейшей зависимости от явлений космических, и, главным образом, от влияния Солнца, прежде всего, подлежит исследовать вопрос о том, в каком соотношении с солнцедетельностью стоят те или другие эпидемические заболевания» (стр.63);

– Скачкообразный и прерывистый характер влияния солнечных пятен на Землю следует особенно запомнить (стр.90);

– Лучистая энергия Солнца является основным источником большинства физико-химических явлений, имеющих место в атмо-, гидро - и в поверхностном слое литосферы (стр.91);

– Солнце и явления на нем (пятна, протуберанцы) оказывают электромагнитное влияние на целую систему явлений: магнитное поле Земли, ионизация земной атмосферы, полярные сияния и изменение электрического потенциала (стр.94);

– К настоящему времени следующие физические явления на Земле поставлены в причинную зависимость о степени напряженности солнечной активности (далее А.А. Чижевский называет 20 физических явлений, начиная от земного магнетизма и кончая землетрясениями (стр.103–104);

– Несомненно, лучистая энергия Солнца является также и могущественным биологическим деятелем, и колебания в ее количестве обуславливают все те изменения в органической природе, которые мы наблюдаем в связи с широтой места, временами года и различными другими геофизическими и сезонными факторами (стр.112);

– В зависимости от количества притекающей лучистой энергии стоит ряд важных физиологических явлений – скорость химических, а, следовательно, и физиологических реакций. Ускорение физиологических реакций неразрывно связано с ассимиляцией питательных веществ животных и растений, усилением деятельности кожных покровов, усилением деятельности желез внутренней секреции, лежащих в основе важнейших гуморальных процессов, обуславливающих деятельность психики и т.д. С уменьшением количества лучистой энергии наблюдается сокращение всех этих явлений. Деятельность растительного и животного мира понижается, увеличивается общее количество патологических процессов, и общая актуальность психических процессов падает» (стр.112);

– Итак, солнечная активность – регулятор течения эпидемических процессов в масштабах всей планеты (стр.233);

– Если солнечные излучения способны изменять вирулентность микроорганизмов в известных пределах, если, наконец, каждый вид микроорганизмов реагирует на вид солнечных выбросов, какие большие перспективы открываются перед нами в отношении предсказания и прогноза, в отношении тактики и стратегии эпидемиологии (стр.266);

– И разрешите пофантазировать: быть может, недалеко то время, когда астрофизические явления на Солнце мы будем предсказывать, изучая под микроскопом изменчивость микроорганизмов... Но корпускулярное и коротковолновое излучение, выбрасываемое ими в мировое пространство, встречают жи-

вую клетку бактерий или нервный аппарат человека и животного и немедленно влияют на него. И только по прошествии некоторого времени очаги возмущения появляются на поверхности Солнца и становятся доступными визуальному наблюдению и фотографированию. Следовательно, нет ничего невероятного в том, что микробиологический препарат вскоре станет наиболее чувствительным астрономическим прибором, который будет предсказывать некоторые процессы на Солнце (стр. 267)».

Читатель, по-видимому, уже обратил внимание на несколько моментов, являющихся главными в идеологии А.А. Чижевского (об этом, кстати, прекрасно написал в предисловии к книге [20] академик О.Г. Газенко). Конечно, то, что Солнце является основой возникновения и существования жизни на Земле, а также причиной протекающих на земле основных физических и химических процессов – является старой и тривиальной истиной. Но Чижевский на основе большого количества наблюдений и аналитических заключений показал, что на жизненные процессы влияет не только постоянная составляющая излучаемой Солнцем энергии, но и периодическая (зависящая от времени) часть «солнцедетальности». Эта мысль может оказаться (и оказывается) полезной, например, и при конструировании терапевтических аппаратов в ММ-диапазоне: необходимость модулировать несущую частоту по амплитуде или по частоте, менять (разнообразить) форму радиосигнала и т.д.

А. А. Чижевский, когда говорит о солнечной активности, почти всегда имеет в виду комплекс физических факторов, связанных с солнечной активностью, – электромагнитные излучения, магнитные бури, «солнечный ветер» и т.д.

Следующая пионерская мысль А. А. Чижевского состоит в том, что в изучении влияние солнечной активности на земные процессы большое внимание надо уделять влиянию как на процессы в живой клетке,

так и в микроорганизмах (имя в виду большую вирулентность микробов). Он отмечал, что действие солнечной активности на микробы является упреждающим, в том смысле, что заметные изменения в поведении и функционировании микробов возникают раньше, чем регистрируются изменения физических процессов на Солнце. А.А. Чижевский отмечал также, что колебания и интенсивности самых различных (массовых) процессов на нашей планете происходят синхронно. Однако главной заслугой А.А. Чижевского как ученого является установление связи между эпидемическими заболеваниями на Земле и периодическими процессами в «солнцедетельности» (с появлением солнечных пятен т.д.). Он обратил внимание на то, что периодическая (нестационарная) «детельность» Солнца выступает в роли регулятора во времени эпидемий и определяет степень (силу) их проявления. Интересной также является мысль о том, что следует различать восприятие и готовность воспринимать живым организмом солнечную (электромагнитную) активность.

Наконец, как можно не восхищаться такими его высказываниями: «...земная жизнь и ее продукция есть превращенная энергия солнечного излучения...», «...солнечное излучение, как и космическое, являются главнейшими источниками энергии, оживляющими поверхностные слои земного шара...». Круг замкнулся: биосфера, все живое и неживое едино под Солнцем, и все тесно переплетено и взаимосвязано. Мы – продукт энергии космического (солнечного) излучения.

Обсуждение вопроса чувствительности биологических систем к слабым электромагнитным полям находит широкое отражение в научно-технической литературе, особенно в последнее десятилетие. Известно несколько физических механизмов, которые позволяют, в принципе, «принимать» слабые сигналы биологическими системами. Остановимся кратко на некоторых из них [22–25], имея в виду электромаг-

нитные волны и поля в миллиметровом (крайне высокочастотном) диапазоне.

Ключевая идея о чувствительности биологических объектов к слабым электромагнитным полям согласуется с предположением о том, что ММ-волны в силу разных причин являются «родными» для биологических объектов и могут использоваться ими для целей управления основными физиологическими функциями. В теоретическом плане на это обстоятельство впервые обратила внимание группа российских учёных в середине 60-годов во главе с Н.Д. Десятковым [7, 8]. Несколько позже и независимо от российских учёных это предположение получило косвенное теоретическое подтверждение в работе известного немецкого физика с мировым именем – Г. Фрёлиха [11]. Основной вывод из этой работы сводится к тому, что отдельные участки плазматической мембраны или вся мембрана живой клетки находятся в возбуждённом колебательном состоянии (когерентные колебания) в диапазоне частот 10^{11} – 10^{12} Гц, что по современной классификации соответствует крайне высокочастотному диапазону. Есть все основания считать, что когерентные колебания по Фрёлиху и акусто-электрические колебания в плазматических мембранах клетки, обсуждаемые в [7,12], есть одно и то же физическое явление.

Мощность электромагнитных колебаний, излучаемая электрическими диполями плазматической мембраны клетки, равна примерно 10^{-23} Вт в узкой полосе частот. Следовательно, для живых клеток столь низкая величина мощности является значимой величиной, поэтому клетки «должны» быть, в соответствии с принципом взаимности, чувствительными к внешним излучениям с мощностью такого же порядка величин.

Эффект усиления слабых внешних электромагнитных полей может иметь место непосредственно в кожном покрове. В качестве активного элемента могут выступать анатомические структуры типа щеле-

вых контактов [25]. На вольтамперной характеристике щелевых контактов имеется область отрицательной дифференциальной проводимости, наличие которой является достаточным и необходимым условием для реализации режима усиления входного сигнала. Особенно большие коэффициенты усиления (порядка 30–60 дБ по мощности) могут быть достигнуты в режимах регенеративного и сверхрегенеративного усиления. Различные усилители в вакуумном и твердотельном исполнении на таких режимах работы уже давно используются на практике [26].

В работе [27] обсуждается новый физический механизм высокой чувствительности водосодержащих биологических объектов к слабым электромагнитным полям (порядка единиц микроватт). Этот эффект связан с открытием саратовскими физиками собственных резонансных частот у водных кластеров, лежащих в диапазоне частот примерно 50–70 ГГц. При облучении биологических объектов слабыми электромагнитными волнами на этих частотах имеет место захват молекулярными водными осцилляторами частоты внешнего сигнала и усиление по типу синхронизированной генерации или регенеративного усиления [26]. Волны на этих частотах распространяются в водных средах с очень малыми потерями (почти как в случае давидовских солитонов, [28]) и, тем самым, могут проникать на большую глубину облучаемого объекта, вовлекая глубинные структуры в процесс взаимодействия со слабым внешним сигналом.

Воздействие слабых электромагнитных полей на биологические системы может происходить при перемешивании облучаемой среды вследствие вынужденной конвекции. Можно обратить внимание на то обстоятельство, что конвекция возможна не только в объеме жидкости, но и в тонких слоях жидкости толщиной менее 1 мм при малых пороговых значениях падающей мощности порядка нескольких микроватт или менее. Некоторые результаты влияния конвекции

на транспорт различных веществ через мембраны можно найти в работе [29].

Новый подход в объяснении чувствительности биологических объектов к слабым электромагнитным полям связан с эффектом «памяти воды» [30]. Суть этого эффекта сводится к следующему. Известно, что жидкая вода является структурированной и состоит, в основном, из кластеров, причём молекулы воды связаны между собой водородными связями. Оказывается, что атом водорода, который расположен между двумя ближайшими атомами кислорода, может находиться в одном из двух состояний - либо вблизи одного, либо вблизи другого атома кислорода. Одно из состояний является устойчивым, а другое неустойчивым. Энергии перехода атома водорода из устойчивого в неустойчивое состояние соответствует квант энергии в КВЧ-диапазоне. Таким образом, под воздействием КВЧ-излучения атомы водорода могут перейти в неустойчивые состояния, а по истечении некоторого времени могут вернуться в устойчивые состояния с обязательным переизлучением квантов энергии в КВЧ-диапазоне («память» воды). Вода, таким образом, играет роль слабоинтенсивного молекулярного генератора электромагнитных волн в КВЧ-диапазоне. Как следует из работы [30], молекулы воды могут находиться в неустойчивом состоянии достаточно продолжительное время – порядка нескольких недель.

Новые и неожиданные возможности объяснения механизма влияния слабых сигналов на биологические системы открываются при использовании физического явления, открытого примерно двадцать лет тому назад. Этот физический феномен был назван *стохастическим резонансом*, который в радиотехнике часто называют стохастической фильтрацией. Наиболее полная информация о стохастическом резонансе и возможных областях его применения, включая биологию и медицину, содержится в оригинальной обзорной работе [31]. Учитывая недостаточную осведомлённость специалистов в

области биологии и медицины об этом эффекте, остановимся кратко на сущности эффекта *стохастического резонанса* [31, 24].

В начале 80-х годов экспериментально было обнаружено, что наличие источников шума в нелинейных динамических системах может привести к принципиально новым режимам функционирования системы, которые не могут быть реализованы в отсутствие шума. Было доказано, что в нелинейных системах шум может играть «положительную» роль, вызывая увеличение степени упорядоченности движений в системе или к улучшению рабочих характеристик системы, например, «приводить к образованию более регулярных структур, увеличивать степень когерентности, вызывать рост усиления и увеличение отношение сигнал/шум». Напомним, что в соответствии с общепринятой, классической точкой зрения присутствие шума всегда воспринималось специалистами как отрицательный факт, шум всегда должен был приводить к ухудшению характеристик динамических систем; поэтому всегда с шумом приходилось как-то «бороться». «Эффект *стохастического резонанса* определяет группу явлений, при которых отклик нелинейной системы на слабый внешний сигнал заметно усиливается с ростом интенсивности шума в системе, причём всегда имеет место максимум (эффекта) при некотором оптимальном уровне шума» [31].

Многочисленные дальнейшие экспериментальные исследования, проведенные с разными физическими объектами, дают основание для принципиального вывода: *эффект стохастического резонанса представляет собой фундаментальное, ранее не известное физическое явление, которое проявляется в нелинейных динамических системах и позволяет контролировать основные параметры системы*. Необходимо отметить, что *стохастический резонанс* может наблюдаться и в нединамических или пороговых системах, что представляет особый интерес для биологических систем, ко-

торые в полной мере отвечают условиям выполнения *стохастического резонанса*. Эту мысль можно пояснить с помощью рис 11. На этом рисунке показан подпороговый сигнал (синусоидальный) и фрагмент аддитивного (белого) шума. Как видно, сигнал может преодолеть порог только при наличии шума, и это происходит случайным образом (рис. 11,а).

При преодолении порога формируются импульсы стандартной формы (рис. 11,б), спектральная плотность мощности которых представлена на рис. 11,в. Вертикальные чёрточки на этом рисунке соответствуют частоте синусоидального сигнала и его гармоникам. При постановке экспериментов по исследованию *стохастического резонанса* необходимо учитывать также следующую дополнительную информацию, вытекающую из теоретических исследований:

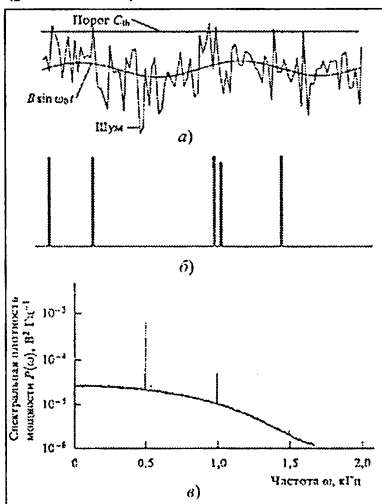


Рис. 11. Физика стохастического резонанса (пояснения в тексте)

– полезный сигнал может быть гармоническим (как показано на рис. 7), квазигармоническим (с конечной шириной спектральной линии, обусловленной действием флуктуаций), многочастотным или представлять собой узкополосный случайный сигнал. В случае многочастотного полезного сигнала, если эффективная полоса часто не превышает 25% от частоты несущего колебания, практически все частоты сигнала имеют одинаковый коэффициент усиления.

В случае сигнала с конечной шириной спектральной линии при реализации *стохастического резонанса* ширина спектральной линии на выходе системы может быть уменьшена при оптимальном уровне шума (напомним, что в реальных ситуациях на биологические системы действуют электромагнитные поля, имеющие квазишумовой, не строго периодический вид);

– шумовой сигнал может быть типа «белого» шума, но может иметь и ограниченный спектр; *эффект стохастического резонанса может быть реализован как при внешнем шуме, так и внутреннем шуме в самой исследуемой системе;*

– при воздействии периодическим сигналом на стохастические системы имеет место стохастическая синхронизация, то есть может происходить захват системой частоты внешнего сигнала, и появляется возможность управлять параметрами системы, находящейся в состоянии стохастической нелинейной динамики; может иметь место также синхронизация ансамбля стохастических резонаторов слабым внешним периодическим сигналом (этот случай особо важен для исследования таких биологических систем, как популяции нейронов-рецепторов или массивы ионных каналов в клеточных мембранах). Новое обстоятельство в этом примере связано с тем, что роль шумового колебания, необходимого для реализации *стохастического резонанса*, выполняет внутренний шум биологической системы.

Для иллюстрации того, как в реальных биологических системах может проявляться *стохастический резонанс*, рассмотрим два примера, которые обсуждаются в работе [31] и представляют большой интерес с точки зрения обработки живыми организмами внешней информации. Эти примеры помогут пояснить, как живые организмы приспособились в процессе эволюции использовать «неустранимый» шум при оптимальном выделении полезной информации.

Первый пример относится к тактике поведения сверчка при появлении угрозы со стороны осы, которая стремится откладывать яйца в теле сверчка. Сверчок должен заблаговременно определить время приближения осы. Поэтому он должен выделить периодические колебания воздуха, обусловленные колеблющимися крыльями осы (с частотой примерно от 80 до 100 Гц), на фоне значительных внешних акустических помех. И сверчок справляется с этой задачей, так как он действует, как нединамическая, пороговая система (см. выше). В рассмотренном примере внешний акустический шум, присутствующий всегда в воздушной среде, помогает сверчку реализовать эффект *стохастического резонанса*, т.е. выделить с помощью своих механорецепторов периодический сигнал тревоги – колебания воздуха, создаваемые крыльями осы.

Второй пример относится к стратегии поведения речного рака, который стремится избежать встречи с хищником – голодной рыбой. Система механорецепторов рака расположена в хвостовой части. Механорецепторы воспринимают почти периодические колебания водной толщи (около 10 Гц), обусловленные движениями приближающейся рыбы, на фоне широкополосного акустического шума, всегда присутствующего в воде. И в этом случае реализуется классический вариант *стохастического резонанса*. Так как скорость звуковой волны в воде больше скорости перемещения рыбы, рак своевременно получает информацию о приближении хищника и успевает вовремя спрятаться. Модельные эксперименты, выполненные на механорецепторах сверчка и речного рака, полностью подтвердили механизм работы механорецепторов как нелинейных систем, в которых реализуется эффект *стохастического резонанса*.

В примере с речным раком необходимо обратить внимание на одно важное обстоятельство. В хвостовой части речного рака имеются также фоторецепто-

ры, которые хорошо реагируют на световой поток. Экспериментально было показано, что при возбуждении фоторецепторов изменяется величина внутреннего шума нейронов, связывающих механорецепторы с нервной системой. Было показано также, что и в этом случае имеет место *стохастический резонанс*, создаваемый световым потоком (внутренним шумом). Таким образом, в зависимости от освещенности и изменения величины внешнего акустического шума воды, приёмная система речного рака может «подгонять» (с помощью добавления внутреннего шума) под оптимальное значение суммарную величину шума, необходимую для нормальной реализации *стохастического резонанса*. Этот любопытный факт может быть, по-видимому, использован для объяснения клинического наблюдения, приведенного в работе [32]. Было замечено, что наилучший терапевтический эффект при лечении острого деструктивного панкреатита имел место при одновременном использовании низкоинтенсивных миллиметровых волн (полезный сигнал в нашей терминологии) и светового потока (красный и зелёный свет), который мог простимулировать появление внутреннего шума в нейронах, связывающих рецепторы миллиметровых волн с центральной нервной системой. В этом случае могли быть выполнены все условия, необходимые для реализации *стохастического резонанса*.

Если это наше предположение в дальнейшем получит подтверждение, то надо будет признать, что терапевтические аппараты, в которых используется комбинация миллиметровых волн и светодиодов, являются более эффективными, чем обычные КВЧ-аппараты. Мы имеем в виду, в частности, аппараты «Универсал – КВЧ», выпускаемые ЗАО «МТА-КВЧ» [33].

В заключительной части этого раздела заметим, что эффект *стохастического резонанса* недостаточно, к сожалению, известен специалистам, работающим в области биологии и медицины. Можно сослаться всего

лишь на несколько работ, в которых обсуждается *стохастический резонанс*. Например, в работе [34] понятие *стохастического резонанса* привлекается для построения терапевтического аппарата, в котором формируется сложно-модулированный (шумоподобный) рабочий сигнал. Этот сигнал подаётся на биосистему, где он взаимодействует с собственным шумом системы, формируемым клеточными агрегациями. Таким образом в биосистеме реализуется *стохастический резонанс* по типу «хаос + хаос».

В работах биофизиков из Пущино (см, например, [35]) также используется понятие *стохастического резонанса*, но выделяется роль двойного резонанса: на несущей частоте (КВЧ) и частоте низкочастотного модулирующего колебания, связанного с частотами основных физиологических ритмов.

Наконец, приведем ещё один пример того, как использование понятия *стохастического резонанса* может оказаться весьма плодотворным – при разрешении старого спора биофизиков о том, можно ли объяснить принципиальную возможность действия низкоинтенсивных ММ-волн на биологические системы, если учитывать, что в этом диапазоне $h\nu \ll kT$ (здесь $h\nu$ – квант энергии в миллиметровом диапазоне; kT – энергия теплового движения молекул среды). Спор ведётся уже на протяжении почти полувека и разрешается с привлечением понятия *стохастического резонанса* автоматически: да, можно, так как в этом случае имеются все необходимые условия для его реализации.

Завершая этот раздел, отметим, что *стохастический резонанс* имеет место, по-видимому, и в случае СПЕ-эффекта [27,36]. Действительно, в воде и в водной среде имеются молекулярные осцилляторы, которые излучают электромагнитные волны на резонансных частотах в миллиметровом диапазоне. Так как таких резонаторов очень много и они практически идентичны, то имеет место существенное уширение спектральной линии излучения на каждой из резо-

нансных частот. При облучении такой среды миллиметровыми волнами от внешнего источника выполняются все условия для проявления стохастического резонанса в полном объёме.

Эффект *стохастического резонанса* как фундаментальное физическое явление может быть с успехом использован в медико-биологических исследованиях при объяснении механизмов высокой чувствительности биологических систем к слабым внешним электромагнитным полям не только в миллиметровом, но и в других диапазонах длин волн. Этот эффект может быть привлечён также для объяснения эволюционно закреплённой способности живых объектов извлекать важную для нормального функционирования информацию из окружающей среды на фоне воздействия на них внешних шумов различной физической природы.

Вопрос о возможности значительного воздействия на биологические объекты слабых электромагнитных полей может решаться также и другими способами [24]. Оригинальный подход (в плане решения старой проблемы $h\nu \ll kT$) обсуждается в одной из публикаций последнего времени [37]. В основе этой работы лежит предположение о наличии коллективных взаимодействий большого количества частиц-акцепторов электромагнитного излучения с внешним полем. Тогда мы будем иметь дело как бы с одной крупной частицей с большими значениями электрического заряда и массы (кластер). Такое предположение имеет место в самоорганизующихся системах. В подобной ситуации энергия внешнего поля может переходить в энергию механических колебаний вязкоупругой среды, содержащей частицы акцепторы колебаний (диссипативный резонанс).

Ещё А.С. Пресман обратил внимание на то обстоятельство, что чувствительность к внешним электромагнитным полям максимальна у целостных организмов и значительно меньше – у изолированных клеток и органов и совсем низкая – у растворов мак-

ромолекул [2]. Можно дать следующее объяснение этому факту применительно к ММ-диапазону. С одной стороны, это является следствием роли ММ-волн в процессах жизнедеятельности, когда клетка с клеткой «разговаривает на языке ММ-волн». С другой стороны это можно объяснить *пространственной* организацией биологических структур. Хорошо известно, что биологическим структурам свойственна фрактальность [38–40]. Учитывая новизну фрактального подхода в биологии, рассмотрим этот вопрос несколько подробнее. Основная характеристика фрактала – *самоподобие*. Самоподобие означает, что фрактальный объект состоит из большого числа «копий» самого себя, которые проявляются, если фрактал и его отдельные участки рассматривать при разных масштабах. Это равносильно тому, как если бы мы рассматривали один и тот же объект под микроскопом при последовательном дискретном возрастающем увеличении и при этом всё время наблюдали практически одинаковые, самоподобные фигуры. Самоподобие присуще многим законам природы и бесчисленным явлениям в окружающем нас мире. Устойчивая работа такой сложной иерархически организованной системы обеспечивается взаимной подчинённостью структур, относящихся к разным пространственным масштабам. Эти структуры часто имеют подобную топологию, что придаёт вертикальной организации живого организма черты фрактала (эта проблема подробно обсуждается в прекрасном обзоре [39]). По-видимому, в живой природе работает некоторый принцип, который можно сформулировать как «фрактал – к фракталу». Действительно, фрактальные структуры присутствуют на всех иерархических уровнях живого организма. Можно предположить, что эволюция живого на Земле следовала принципу самоподобия.

Особенно отчётливо фрактальные свойства выражены в дыхательной, кровеносной и нервной системах. Бронхи и бронхиолы лёгкого образуют «дерево» с многочисленными разветвлениями. Мелкомасштабная струк-

тура дыхательных путей выглядит так же, как и крупномасштабная. Анализ ветвления дыхательных путей однозначно показывает, что они подчиняются степенному закону в широком диапазоне пространственных масштабов, то есть мы имеем дело с фрактальными структурами (при числе ветвлений – бифуркаций, равном примерно 15). Точно так же система кровеносных сосудов состоит из непрерывно ветвящихся вен и артерий, которые выглядят идентичными в широком диапазоне пространственных масштабов. Большая поверхность дыхательных и кровеносных сосудов способствует оптимальному газообмену и кровоснабжению внутренних объёмов тканей. Кроме того, фрактальная структура дыхательной и кровеносной систем обладает большой устойчивостью к повреждениям отдельных элементов. Вообще фрактальные структуры благодаря избыточности и нерегулярности хорошо противостоят различным повреждениям.

Нейронные сети и отдельные нервные клетки (нейроны) также имеют фрактальную структуру. Если рассматривать нейроны через микроскоп, то при многих коэффициентах увеличения можно наблюдать новые идентичные уровни структуры – ответвления от ответвлений. В модельных экспериментах было показано, что фрактальная организация нервной системы способствует высокоэффективному обмену между её элементами. Как и дыхательная, и кровеносная системы, фрактальная структура нейронов относится к классу ограниченных фракталов: при достаточно большом увеличении микроскопа можно заметить, что ветвление, конечно, прекращается.

Фрактальной является также топология сосудов сетчатки глаза, поверхности раздела «ткань-жидкость», поверхности ядерных мембран, поверхности белковых молекул и их комплексов, кластерные структуры воды и т.д. Необходимо отметить особую важность фрактальной структуры водных кластеров: такая структура воды как растворителя может играть определяющую роль

при «самосборке» биополимеров, о чём свидетельствует, в частности, «согласование» водных фракталов с топологией большинства известных белков.

Фракталы – частный случай *кластеров*, которые, как считает современная наука, являются новым (пятым) состоянием вещества (раньше считалось, что таких состояний четыре: твёрдое, жидкое, газообразное и плазменное). В общем случае кластер – это система связанных атомов или молекул. Если какое-либо тело последовательно делить на всё более мелкие части, то все свойства этого тела постепенно исчезают по мере такого деления, независимо от того, является ли это тело твёрдым, жидким, газообразным или плазменным. Кластеры являются промежуточным звеном между молекулярной формой и конденсированными формами материи и обладают физико-химическими свойствами, отличными от своих соседей [41]. Как промежуточная структура вещества кластеры должны, по определению, играть основную формообразующую роль в формировании макроскопических свойств и характеристик более высокоорганизованных конденсированных веществ и процессов, что и имеет место в живых системах. С большой достоверностью можно предположить, что фрактальные кластеры (кластеры «с расплзающейся, разреженной структурой» [41]) играют определяющую роль при формировании в организме дифференцированных (специализированных) тканей. В живых системах огромное количество фрактальных анатомических структур и биологических процессов. Фрактальные структуры в человеческом организме являются результатом медленной динамики эмбрионального развития и эволюции. Динамические фрактальные флуктуации играют большую роль в эмбриогенезе. По мнению авторов работы [39] фрактальные алгоритмы развития должны включаться на ранних стадиях роста организма – до появления специализированных структур и устойчивых биохимических форм живой материи, в частности, в работе молеку-

лярных механизмов наследственности - генов, формировании механизма памяти в головном мозге, в механизме восприятия цвета и т.д.

Авторы работы [39] считают, что «роль начальных кооперативных связей, поддерживающих фрактальную биологическую самоорганизацию, играют *электромагнитные* взаимодействия – наиболее распространённый тип нелокальных связей в масштабах биологических структур». На элементарном уровне кооперативные электромагнитные взаимодействия могут осуществляться двойными электрическими слоями мембран.

После этого довольно пространного рассмотрения вопроса о фракталах в биологии можно, наконец, следующим образом ответить на наблюдение А.С. Пресмана о высокой чувствительности целостных организмов к внешним электромагнитным воздействиям. Воспользуемся для этого следующим примером, хорошо известным в электронике и радиотехнике. При воздействии внешнего (синхронизирующего сигнала) на систему связанных осцилляторов эффект воздействия тем сильнее, чем более подобными (или самоподобными) являются сами осцилляторы.

Можно с осторожностью предположить, что по мере нашего понимания роли фрактальных структур и процессов в биологии мы будем иметь дело, по существу, с новым видом информационного (слабого) взаимодействия в природе – фрактальным взаимодействием. Под этим взаимодействием можно «понимать явление передачи биологически значимой информации между процессами разных временных и пространственных масштабных уровней, целиком определяемое их взаимным подобием» [39].

1.6. Вода и миллиметровые волны

Роль сверхмалых электромагнитных излучений в процессах самоорганизации живой материи, в её эволюции была определяющей. В этом плане особое значение имеет вода как основная среда, в которой

(или с участием которой) протекают все жизненно важные процессы, отличающие живую материю от неживой. Мы неоднократно уже отмечали, что вода и водные растворы играют ключевую роль в биофизических механизмах воздействия низкоинтенсивных электромагнитных полей на биологические системы. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Вода – самое распространённое на Земле и самое загадочное вещество Вселенной [42]. Вода является основой жизни на Земле. Без воздуха жизнь возможна (анаэробы), без воды – нет. Человек примерно на 70% состоит из воды. Известному немецкому физиологу Дюбуа Раймону принадлежит образное изречение: «Жизнь – это одушевлённая вода».

Алхимики называли воду «совершенством» и обозначали её в виде опрокинутого треугольника ∇ . «Тела не действуют, если не растворены» (в воде) – одно из основных положений алхимии.

Вода – вещество, принятое в качестве эталона меры плотности, объема и т.д. для других веществ, однако, сама вода является наиболее аномальным среди них. У воды много аномалий: дисперсии, рассеяние световых волн, зависимости плотности, точки кипения и замерзания (плавления) от температуры и давления, теплоемкости от температуры и др.

Однако физико-химические свойства воды, особенно в жидкой фазе, изучены недостаточно. Главная трудность здесь обусловлена химическими особенностями атомов водорода и кислорода, структурой молекулы воды, способностью молекулы воды к диссоциации на противоположно заряженные ионы водорода H^+ и гидроксильной группы OH^- , а также способностью воды образовывать слабые водородные связи, которые в 24 раза слабее сил взаимодействия между электронами и ядрами молекул воды.

Известны три долгоживущих изотопа кислорода и три – водорода. Эти изотопы образуют 18 изотопических разновидностей воды. Кроме того, при низких

температурах существуют такие разновидности воды как поливодород и гиперводород, а также орто- и пара-вода (с параллельными и антипараллельными спинами как ядер, так и электронов).

Два атома водорода образуют у центрального атома кислорода угол, близкий к 104° , что приводит к неполной компенсации внутримолекулярных сил, избыток которых обуславливает асимметрию распределения зарядов, создающую полярность молекулы воды. Эта полярность определяет её дипольный момент и диэлектрическую проницаемость и является одной из причин аномальных свойств воды.

Полярные молекулы воды, вступая во взаимодействие друг с другом и другими молекулами различных органических и неорганических веществ, образуют огромное количество структурных элементов – ассоциатов (кластеров, клатратов). Отдельные молекулы воды связаны между собой силами притяжения, в частности, водородными связями. Водородная связь – это электростатическое взаимодействие между отрицательным зарядом кислорода одной молекулы воды и *частичным* положительным зарядом водорода соседней молекулы. Многие свойства воды обусловлены особенностями водородных связей [43].

Для конденсированных фаз воды характерны необычайно большие амплитуды колебаний атомов молекулы воды и процессы диссоциации молекулы воды на ионы. Большие амплитуды колебаний атомов молекулы воды (порядка $0,6\text{\AA}$) определяют деформируемость воды в жидкой фазе.

Реальная вода не является «чистой» в том смысле, что она не состоит из простых молекул воды H_2O . Реальная вода – это смесь разновидностей собственно молекул воды, а также растворённых в ней всевозможных ионов, молекул газов и различных органических и неорганических веществ.

Какова структура воды как жидкости? На сегодняшний день вопрос о структуре воды является

дискуссионным, хотя и имеется большое количество правдоподобных гипотез. Многие исследователи считают, что в воде могут быть, например, ассоциаты в виде тетраэдров, гексагональных структур (в твёрдой, льдоподобной фазе). Вода может быть представлена двухструктурной моделью: рыхлой льдоподобной и более плотно упакованной жидкостью. Взаимодействие ближайших молекул в воде (близодействие) определяется структурой молекулы воды, большими амплитудами колебаний атомов и особенно атома водорода. Дальнействующие силы (в частности, дисперсионные) определяют исключительную однородность воды, на которую указывает, например, аномально малое рассеяние водой видимого света. Дисперсионные силы, определяемые атомными колебаниями, синхронизируют эти колебания. Введение в однородную среду (систему одинаковых осцилляторов) приводит к нарушению синхронизации среды. В результате свойства воды в растворах малых концентраций порядка 10^{-9} моль (для растворённого вещества) существенно изменяются. Такие изменения, зависящие от вида растворённых молекул, в определённом интервале малых концентраций могут нелинейно зависеть от их концентрации. Этот эффект будет иметь место при таких концентрациях растворённых молекул, при которых ещё не возникает прочных связей между растворёнными молекулами, и возможны флуктуации концентраций растворённых молекул в растворителе.

Заметим, что здесь мы впервые сталкиваемся с существенным влиянием слабого фактора (растворённого вещества) на основные свойства жидкой воды.

Рассмотрим результаты оригинальных экспериментальных исследований, выполненных за последнее время и посвящённых свойствам воды при воздействии на неё низкоинтенсивных ММ-волн.

А. Возбуждение объёмных молекулярных волн миллиметровыми волнами в воде и водосодержащих средах – СПЕ-эффект [27, 36, 44, 45].

Эта аббревиатура составлена из начальных букв фамилий физиков, впервые наблюдавших эффект – Синицына Н.И., Петросяна В.И. и Ёлкина В.А., сотрудников Саратовского отделения ИРЭ РАН.

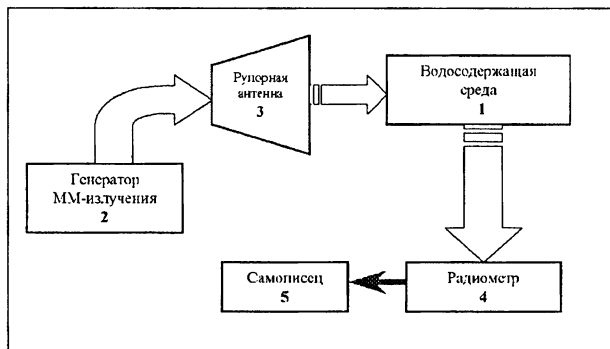


Рис. 12. Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки показана на рис. 12. Водосодержащая среда 1 облучается электромагнитными волнами миллиметрового диапазона с помощью рупорной антенны 3. В качестве источника миллиметровых волн 2 используются генераторы стандартных сигналов Г4-141 или Г4-142, выходная мощность которых перестраивается в широком диапазоне частот $f = 38\text{--}53$ и $53\text{--}78$ ГГц соответственно. Отклик системы на воздействие миллиметровых волн регистрировался в дециметровом диапазоне (для повышения помехоустойчивости приёма) с помощью высокочувствительного приёмника – радиометра 4, соединённого с самописцем 5. На рабочей частоте, равной 1 ГГц, чувствительность радиометра составляет примерно 10^{-16} Вт в полосе приёма, равной 50 МГц. Выходная мощность генераторов изменялась в пределах примерно 0,01 мкВт – 10 мВт. Для исключения влияния внешних помех экспериментальная установка помещалась в экранированную

камеру. Основные экспериментальные результаты в виде кривых зависимости показаний радиометра от частоты зондирующего миллиметрового излучения представлены на рис. 13. В отсутствие зондирующего сигнала радиометр надёжно регистрировал собственный тепловой шум системы. Из спектрограмм видно, что превышение излучения системы над тепловым шумом наблюдается только в узких полосах частот. Важным фактом является то, что появление квазирезонансных откликов имеет место только при очень малых значениях плотности мощности зондирующего сигнала – в пределах $0,01\text{--}10\text{ мкВт/см}^2$. При меньших значениях мощности эффект отсутствовал, а при больших значениях спектрограмма размывалась и имела шумоподобный характер. Прокомментируем этот экспериментальный результат с позиций классической радиотехники.

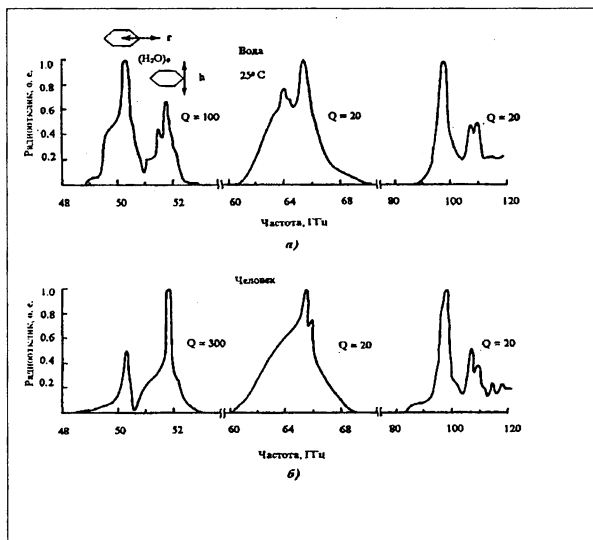


Рис. 13. Зависимость биологического эффекта от частоты ММ-излучения для воды (а) и человека (б)

Сходство спектрограмм для воды и тела человека свидетельствует о том, что за появление избыточного излучения ответственна вода, на долю которой в теле человека приходится более 70% вещества. Двугорбый характер спектрограмм для каждой из трёх полос частот наблюдаемого эффекта наводит на мысль о том, что мы имеем дело, по-видимому, с двумя спектральными сильно уширенными линиями. Очевидно, что спектральные линии соответствуют собственным резонансным частотам каких-то двух осцилляторов. Собственное излучение этих осцилляторов очень мало, и их мощность соизмерима с мощностью теплового излучения. При подаче зондирующего сигнала происходит эффект усиления, который напоминает хорошо известный в радиотехнике и электронике СВЧ эффект регенеративного усиления (и / или синхронизированной генерации). Возможен и другой подход для объяснения СПЕ-эффекта. Резонансные частоты на каждой полосе частот могут быть гармониками некоторых фундаментальных частот в области более низких частот, которые пока не обнаружены экспериментально.

Если первую полосу частот (на рис. 13 – слева) принять за основную, то сохранение двугорбости на второй и третьей полосах частот можно интерпретировать как возникновение комбинационных частот от двух основных резонансных частот, присутствующих на первой полосе частот.

Уширение резонансных частот составляет достаточно большие значения – порядка 2–3 ГГц (см. рис. 13). Это возможно, если мы имеем дело с большим количеством тождественных осцилляторов, испытывающих многократные столкновения (столкновительное уширение [46]). Таким образом, ход наших рассуждений позволяет сделать однозначный вывод о том, что в основе СПЕ-эффекта лежит собственное излучение некоторых молекулярных осцилляторов в водной среде. Сами авторы СПЕ-эффекта в своей первой публикации указали на молекулярную природу осцилляторов, резо-

нансные частоты которых лежат в ММ-диапазоне длин волн. В частности ими было показано, что в рамках гипотетической двухструктурной модели воды за первую основную резонансную частоту ответственны колебания атомов гексагональных колец в продольном направлении (в плоскости колец), а за вторую основную частоту – колебания атомов колец в поперечном направлении.

Одним из интересных следствий СПЕ-эффекта является появление резонансной прозрачности водной среды на резонансных частотах, которое получило прямое экспериментальное подтверждение [47] в независимом эксперименте. Этот эксперимент был поставлен с применением квазирезонансного волноводного тракта оригинальной конструкции, что позволило практически полностью исключить влияние внешних помех и обеспечить высокую достоверность полученных результатов. Заслуживает внимания также прямое вычисление молекулярной длины волны в водной среде; эта волна бежит по сетке водородных связей гексагональных колец в режиме, когда проявляется эффект прозрачности водной среды для миллиметрового излучения. Так, например, если длина электромагнитной волны в свободном пространстве $\lambda_0 = 6$ мм (что соответствует частоте 50 ГГц), то длина молекулярной волны равна $\lambda_p = 1$ мм. По справочным данным длине волны $\lambda = 6$ мм соответствует диэлектрическая проницаемость $\epsilon_c = 18$, тогда как при резонансном возбуждении водной среды ММ-волнами $\epsilon_p = 36$.

Подводя итог сказанному выше, можно отметить, что мы имеем дело с фундаментальным открытием в области физики конденсированных сред в жидкой фазе, в области спектроскопии жидких сред при их обучении слабыми электромагнитными волнами в миллиметровом диапазоне длин волн. Этот экспериментально установленный факт ещё раз подчёркивает большую значимость слабых внешних воз-

мущающих факторов в физике взаимодействия атомов и молекул в жидких средах со слабыми электромагнитными полями. СПЕ-эффект имеет не только большое научное значение, он открывает новые пути нетрадиционного применения электромагнитных волн в различных практических областях (в биологии, медицине, фармакологии и т.д.).

Б. Память воды

В последние годы появились публикации, в которых приводятся новые данные о роли воды и водных растворов в реализации биологических механизмов ММ-волн. Врачи, применяющие на практике метод ММ-терапии, уже давно обратили внимание на то, что терапевтический эффект иногда достигается при использовании воды, предварительно облучённой ММ-волнами низкой интенсивности [48]. В это время впервые было сформулировано положение о том, что вода обладает «памятью» при воздействии на неё ММ-волнами. Иными словами, вода «помнит» факт облучения и после выключения генератора выполняет функцию генератора ММ-волн в течение довольно продолжительного времени (до нескольких недель). Это свойство воды и водных растворов получило экспериментальное подтверждение [49]. Механизм этого явления обсуждается в работах [50,30]. В работе [50] исследуется вопрос о возбуждении метастабильных состояний на энергетической диаграмме структур воды и показано, что физический механизм формирования «памяти» воды связан с сеткой водородных связей. Водородная связь между двумя молекулами воды характеризуется тем, что атом водорода, находящийся между двумя атомами кислорода, может занимать положение либо вблизи одного, либо вблизи другого атома кислорода. В одном случае это имеет место при поглощении кванта энергии ММ-излучения, в другом случае – при испускании такого же кванта. Если при этом он продолжительное время находится на возбуждённом энергетическом уровне, то реализуется

эффект «памяти». Теоретические оценки показывают, что частота перехода протона через потенциальный барьер определяется разностью энергетических уровней ΔE_p и равна $\omega_p = \Delta E_p / \hbar$, где \hbar – постоянная Планка. В водных кластерах $(H_2O)_n$ при $n = 50-60$ частоты переходов лежат в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах, что обуславливает резонансный характер поглощения ММ-излучения этими системами. Таким образом, можно предположить, что в воде и в водосодержащих растворах для любой частоты ММ-диапазона всегда найдутся кластеры (или клатраты), которые по этому механизму способны поглотить кванты ММ-излучения и «высветить» их через какое-то продолжительное время. Следовательно, способность молекулярных ассоциатов воды сохранять биологическую (биохимическую) активность воды после прекращения облучения и определяет эффект «памяти» воды. Напомним, что этот эффект возникает при облучении ММ-волнами слабой интенсивности порядка единиц – десятков мкВт/см².

В. Изменение свойств воды и водных растворов при её облучении тепловыми волнами биообъектов

Еще в работе [51] приводились экспериментальные данные о том, что воздействие теплового излучения руки оператора на микроорганизмы в водной среде приводит к значимым биологическим эффектам. Механизм этого эффекта остался невыясненным. Недавно появилась еще одна работа [52], в которой приводятся результаты исследования динамики нагрева воды различными тепловыми источниками, включая биообъекты. Измерялась электрическая проводимость воды под действием различных тепловых источников. Показано, в частности, что электрическая проводимость воды при ее нагреве до одной и той же температуры значительно выше при воздействии ладони оператора, чем в случае нагрева электроприбором. Вторым важным результатом заключается в том, что охлаждение воды до первоначальной температуры после воздействия оператора не

приводит к исходному значению электропроводности. Динамика изменения электропроводности растягивается во времени, что свидетельствует о наличии эффекта «памяти» воды. Интересно, что эта «память» исчезает, если воду нагреть электроприбором.

Анализируя эти экспериментальные результаты, можно высказать предположение том, что они коррелируют с данными работы [48] по эффекту «памяти» воды в случае воздействия на воду ММ-волнами. Результаты работы [52] можно объяснить, привлекая механизм реализации СПЕ-эффекта, а также эффект стохастического резонанса. Как уже указывалось, в воде и водных растворах экспериментально было обнаружено излучение ММ-волн молекулярными осцилляторами (гексагональными кольцами) в льдоподобной фракции воды. В работе [36] показано, что усиление излучения на резонансных частотах в ММ-диапазоне возможно не только в случаях, когда частота внешнего излучения совпадает с этими резонансными частотами. Эффект усиления собственного излучения можно наблюдать также при зондирующем сигнале в инфракрасном и световом диапазонах и при слабых электрическом и магнитном статических полях. Во всех этих случаях интенсивность дополнительного к тепловому излучения должна быть меньше, чем в случае возбуждения среды ММ-волнами. Обратим внимание на то, что при любом зондирующем излучении можно наблюдать стимулированное излучение не только в дециметровом диапазоне длин волн, но и, например, в инфракрасном диапазоне. Следовательно, и в работе [52] при облучении воды ладонью оператора (нагрев происходит, в основном, за счёт инфракрасных волн) имеет место стимулированное излучение в инфракрасном диапазоне. Таким образом, в рассматриваемом случае мы имеем собственное шумовое излучение воды в инфракрасном диапазоне плюс шумовое излучение из ладони оператора в этом же диапазоне частот. В результате обес-

печиваются все необходимые условия для реализации стохастического резонанса [31].

1.7. Особенности взаимодействия ММ-излучения с водой и водными растворами

Как указывалось во Введении, применение ММ-волн на практике начиналось со спектроскопических исследований. Миллиметровая спектроскопия по сравнению с оптической обладает такими преимуществами, как высокая чувствительность и разрешающая способность. ММ-спектрометры позволяют измерять вращательные и вращательно-колебательные спектры любых молекул и молекулярных комплексов в газовой и паровой фазе. В последние годы в этой области достигнут большой прогресс. Имеется информация о разработке нового метода Фурье-спектроскопии, основанного на возбуждении резонансно поглощающих молекул быстро сканирующим микроволновым излучением [53]. Скорость сканирования выбирается такой, чтобы время прохождения спектральной линии было бы меньше времени молекулярной релаксации. Благодаря этому достигается высокая чувствительность и быстродействие. В литературе имеется информация о разработке нового, коммерчески доступного низкотемпературного резонаторного миллиметрового ЭПР-спектрометра. Спектрометр работает на частоте 60 ГГц при магнитном поле интенсивностью 7 Т. [53].

Широкое распространение получила ЛОВ-спектроскопия и её разновидность – лучеводный вариант [54–56]. Особенностью этого варианта является применение в качестве измерительного тракта линзового лучевода, что позволило резко снизить погрешности измерений, связанные с дифракционными эффектами. В классическом случае на таких установках можно измерять спектры поглощения газов, комплексные коэффициенты преломления, диэлектрические и магнитные проницаемости твёрдых тел и жидкостей.

С ММ-спектроскопией связаны надежды изучения особенностей взаимодействия излучения с водой и водными растворами, что очень важно для решения многих прикладных задач в химии органических и неорганических соединений, фармакологии, электромагнитной биологии и др. В основе таких исследований лежит измерение коэффициента поглощения воды и водных растворов разной химической природы при различных концентрациях и температурах.

Рассмотрим особенности поглощения ММ-волн водой и водными растворами [55,56]. Эти данные представляют большой интерес, так как водные растворы различных веществ можно рассматривать в качестве модели внутри- и внеклеточных жидкостей сложных биологических объектов. Как уже неоднократно указывалось, вода является веществом, сильно поглощающим ММ-волны. В результате и возникает проблема, связанная с глубиной проникновения этих волн в поверхностные слои биологических объектов, богатых водой. При этом следует учитывать, что абсолютно чистой воды в природе не существует, тем более в биологических тканях. В воде всегда растворены газы, жидкие или твёрдые вещества, которые в той или иной степени оказывают влияние на её свойства, а значит и на способность поглощать ММ-волны. В ИРЭ РАН за последние тридцать лет накоплен большой экспериментальный материал по изучению характера поглощения ММ-волн водой и водными средами, главным образом истинными и коллоидными растворами. Этот материал был получен В.А.Завизионом и В.А. Кудряшовой в сотрудничестве с Ю.И. Хургиным (Институт органической химии РАН). Рассмотрим кратко наиболее существенные результаты.

Эксперименты проводились на установке, собранной из квазиоптических элементов. В качестве источника ММ-волн использовалась ЛОВ-О на длине волны $\lambda = 2$ мм [55].

В основе исследований лежит измерение коэффициента поглощения слоя толщиной в один миллиметр (α , дБ/мм) воды и водных растворов веществ различной химической природы при различных концентрациях и температурах. Концентрационные зависимости для водных растворов на разных длинах волн ММ-излучения являются однотипными – гладкие кривые без острых максимумов и минимумов. Для большинства растворов обнаружено отклонение экспериментально найденного поглощения $\alpha_{\text{экс}}$ от аддитивного поглощения компонент раствора $\alpha_{\text{ад}}$ (рис. 14).

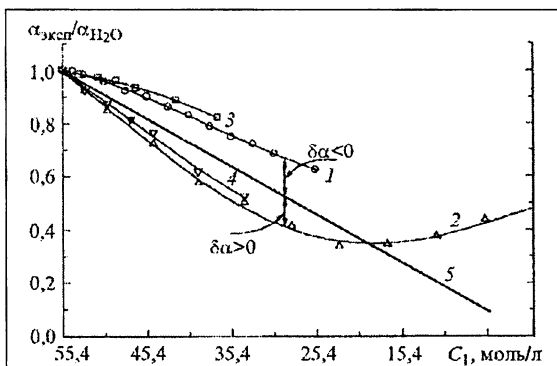


Рис. 14. Зависимости коэффициента поглощения водного раствора от концентрации растворенного вещества для трех основных случаев

Согласно закону Ламберта–Бера для невзаимодействующих компонент раствора в оптической спектроскопии справедливо соотношение $a_{\text{ад}} = \sum C_i K_i$, где C_i и K_i – молярные концентрация и коэффициент экстинкции i -компоненты раствора. При наличии межмолекулярных взаимодействий в растворах приведенное выше соотношение нарушается. Величина отклонения $\delta\alpha = \alpha_{\text{ад}} - \alpha_{\text{экс}}$, названная дефицитом поглощения, характеризует эффекты взаимодействий в растворах. В основу интерпретации эксперименталь-

ных данных положено представление о том, что с точки зрения поглощения ММ-излучения вода является бимодальной системой, где имеет место распределение между фракциями молекул воды, взаимодействующих и невзаимодействующих с ММ-излучением. Бимодальным характером состояния воды обусловлен дефицит поглощения $\delta\alpha$, который в зависимости от того, в какую сторону сдвигается в растворе равновесие между поглощающими и не поглощающими фракциями воды, может быть положительный и отрицательной величиной. Исходя из дефицита поглощения, рассчитывается количество молекул воды N_0 , изменивших своё динамическое состояние под воздействием молекул растворённого вещества. Для двухкомпонентной системы $N_0 = \delta\alpha / C_2 K_i$, где C_2 – молярная концентрация растворённого вещества, K_i – молярный коэффициент экстинкции чистой воды. Поскольку основными процессами в водных растворах являются гидратационными, величины N_0 были названы числами гидратации. Растворённые в воде вещества в зависимости от их структуры и химической природы способны оказывать воздействие на динамику молекул воды по разным механизмам:

а) если в молекуле органического соединения имеются донорно-акцепторные группы, то молекулы воды образуют с ними H -связи. Подвижность таких молекул воды уменьшается, поглощение раствора падает, и наблюдается положительный дефицит поглощения, $\delta\alpha > 0$;

б) если связанная H -связью молекула воды в силу, например, стереохимических особенностей молекулы растворённого вещества сохраняет (или даже увеличивает) вращательную подвижность, то поглощательная способность раствора увеличивается. В результате наблюдается отрицательный дефицит поглощения, $\delta\alpha < 0$;

в) если в молекуле растворённого вещества имеются гидрофобные группы, то образование дополни-

тельных H -связей между молекулами воды вблизи гидрофобных групп также приводит к уменьшению их поглотительной способности, то есть к появлению положительного дефицита поглощения, $\delta\alpha > 0$.

Как правило, молекулярные взаимодействия в водных растворах происходят по разным механизмам одновременно, и ММ-спектроскопия, как и многие другие методы, позволяет обнаруживать суммарный эффект. В ряде случаев, исследуя гомологические ряды органических соединений с учетом чувствительности к температуре гидрофобной гидратации, удаётся разделить вклады в общую гидратацию разных типов гидратации. С повышением температуры раствора вклад в поглощение от гидрофобной гидратации, в отличие от гидрофильной гидратации, как правило, уменьшается. Это позволяет достаточно точно определить вклад гидрофобной гидратации. Экспериментально установлено, что применение закона Ламберта–Бера в полном объёме соблюдается вблизи $\lambda = 2$ мм. В этой области получаются максимальные для каждого вещества величины N_0 , которые, как правило, соответствуют при гидрофильной гидратации количеству молекул воды, способных расположиться в первой гидратной оболочке молекулы растворённого вещества за счёт образования H -связей. В частности, найденные в области $\lambda = 2$ мм степени гидратации глобулярных белков (0,3 грамма воды на грамм белка) совпадают с величинами гидратации, найденными другими методами.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, какие сложные процессы происходят в водных системах, каковыми являются биологические объекты, и как растворённые вещества влияют на характер взаимодействия ММ-излучения с водой.

2. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

2.1 .Экспериментальные исследования

Из живых существ микроорганизмы были первыми биологическими объектами, которые использовались для изучения эффектов взаимодействия с низко-интенсивными ММ-волнами. Несколько позднее в качестве объектов исследования были выбраны живые клетки и отдельные структурные элементы клетки [57–62]. Первый эксперимент был поставлен с бактерией (кишечной палочкой) *E. coli*, которая характеризуется сильной изменчивостью формы и большой чувствительностью к воздействию различных внешних факторов. Уже в первых экспериментах был обнаружен резонансный эффект – зависимость синтеза колицина от частоты ММ-излучения (рис. 15). Оказалось также, что биологический эффект зависит от времени облучения и имеет пороговый характер зависимости от мощности ММ-излучения (рис. 16). Кроме того, на кривой зависимости биологического эффекта от мощности излучения имеется довольно протяженный участок (плато), в пределах которого биологический эффект практически не зависит от мощности излучения, хотя на этом участке мощность изменяется на несколько порядков. Показано, что на отдельных (резонансных) частотах синтез колицина (белка) вырастает в 2,5–3 раза. В работе [62], выполненной также с *E. Coli*, были обнаружены ещё несколько важных биологических эффектов: устойчивость био-

логического эффекта к стрессам (в частности, к изменению концентрации физиологического раствора); сохранение (воспроизведение) эффекта в нескольких последующих циклах пересева культуры; предварительное облучение ММ-волнами может уменьшать последующее влияние каких-либо репрессирующих факторов; возможность направленного изменения ферментативной активности бактерий; возможность восстановления ферментативной активности до исходных величин, если она была снижена в силу воздействия каких-либо других факторов.

В последующих экспериментах, выполненных с различными другими микроорганизмами (актиномицеты, плесневые, дрожжеподобные и микрофильные грибы, дрожжи), было показано, что под действием ММ-волн низкой интенсивности изменяется характер жизнедеятельности микроорганизмов. Облучение ММ-волнами влияло на клеточное деление, синтез ферментов, изменение скорости роста и выхода биомассы, приводило к морфологическим изменениям и изменению биологических свойств микроорганизмов (см., например, обзор [61]).

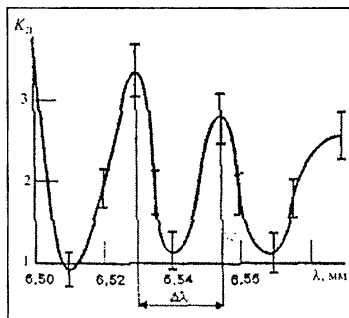


Рис. 15. Зависимость биологического эффекта от частоты колебаний

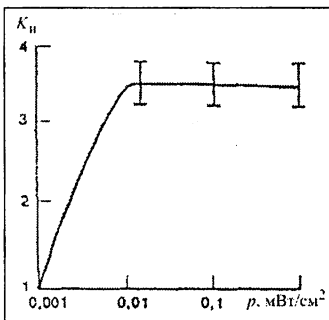


Рис. 16. «Плато» на зависимости биологического эффекта от мощности падающего излучения [57]

Таким образом, под действием ММ-волн могут изменяться параметры жизнедеятельности микроорганизмов, регулировка физиологической активности, происходит мобилизация резервных возможностей микроорганизмов. Например, воздействуя на суспензию в воде *спорowego гриба аспергилла*, можно повысить его фибринолитическую активность в 2,5–3 раза; воздействуя на дрожжеподобный гриб *эндомикопсис*, используемый в качестве продуцента амилалитических ферментов, можно добиться увеличения амилалитической активности культуры на 50 %. Воздействие на патогенные микроорганизмы приводит к изменению чувствительности к антибиотикам штаммов стафилококка различного происхождения, а также к изменению иммунобиологической активности полученных из них антигенных субстанций [61,62]. Важно отметить, что в большинстве приведенных выше примеров характер изменения биосинтетических свойств микроорганизмов зависит от таких биотропных параметров ММ-излучения, как частота, время и кратность облучения, мощность излучения, причём иногда в зависимости от параметров излучения отмечалось изменение знака эффекта (например, активация ↔ ингибирование).

Оригинальные материалы были получены при изучении воздействия ММ-волн на спиртовые и пивоваренные дрожжи. При воздействии на *спиртовые дрожжи* – *Saccharomyces cerevisiae* была выявлена возможность изменения культуральных, цитологических, физиологических свойств культуры и сохранение этих свойств во многих поколениях. Например, биологические эффекты сохранялись более чем в 300 клеточных генерациях [7].

В многочисленных экспериментах с *пивоваренными дрожжами* – *Saccharomyces carlsbergensis* был получен ряд новых биологических эффектов.

Были отмечены изменения в кривой роста дрожжевой культуры: сокращение лаг-фазы (фазы

адаптации культуры к среде) примерно в 2,5 раза и значительное уменьшение (примерно в 6 раз) стационарной фазы, при этом изменения этих свойств может передаваться из поколения в поколение. Как и в случаях с другими микроорганизмами, под воздействием ММ-волн восстанавливается искусственно пониженная жизнедеятельность, а также устраняется действие репрессивных факторов. Одним из важных интегральных параметров дрожжевых культур является длительность цикла развития клеток между последовательными делениями. Обычно синхронность деления уже после нескольких циклов нарушается и наступает переход к экспоненциальному росту числа клеток. Экспериментально было замечено, что после воздействия ММ-волнами (плотность мощности облу-

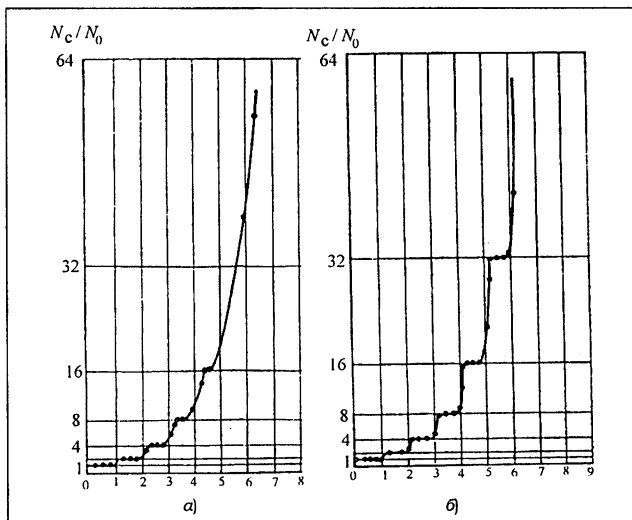


Рис. 17. Временная зависимость синхронного деления необлученных клеток (а) и клеток, подвергшихся облучению (б);

N_c – текущее число клеток в суспензии,

N_0 – исходное число клеток в суспензии ($N_c/N_0 = 3$)

чения 0,25 мВт/см² на длине волны $\lambda = 6,5$ мм) наступает эффект синхронизации в циклах деления клеток: наблюдается одинаковое время деления большого количества клеток, которое отмечается в целом ряде циклов деления. Кроме того, увеличивается и количество циклов синхронного деления, что отчётливо видно на рис. 17 (здесь протяжённости времени цикла деления соответствует длина «ступеньки» на кривой) [7,63]). Этот эффект имеет большое значение для понимания механизмов взаимодействия ММ-волн с биологическими объектами.

Наконец, эксперименты с дрожжами *Saccharomyces carlsbergensis* получили логичное завершение – выработка методики ускорения процесса производства пива, которая будет подробно рассмотрена в разделе 5.2.

Обратимся ещё к одной группе экспериментов по воздействию ММ-волн на микроорганизмы – *микроводоросли*.

В настоящее время *микроводоросли* (фотосинтезирующие организмы) являются одним из важных объектов биотехнологии (фотобиотехнологии) и можно предположить, что они станут одним из основных объектов промышленного фотосинтеза (эта идея была высказана в своё время К.А. Тимирязевым). Фотосинтезирующие организмы в своей жизнедеятельности обходятся очень дешёвыми естественными источниками энергии, поэтому они имеют большие преимущества перед традиционными в современной биотехнологии объектами – гетеротрофными микроорганизмами.

Многочисленные эксперименты, проведенные на биофаке МГУ совместно с ИРЭ РАН на протяжении последних 15 лет, показали, что низкоинтенсивные ММ-волны по отношению к *микроводорослям* обладают большими стимулирующими свойствами: в частности, обнаружен эффект существенной интенсификации фотосинтетических процессов, сохраняющийся при последующих пассажах. Наибольшую

ценность в практическом отношении представляет сине-зелёная водоросль *спирулина* – *Spirulina platensis* – продуцент ценного пищевого и кормового белка и биологически активных соединений, а также промышленно важная морская одноклеточная водоросль *Platymonas viridis*, имеющие большие биотехнологические возможности.

Среди всех известных растений и микроорганизмов *спирулина* имеет высокое содержание в биомассе белка – около 60–70% сухого вещества, что почти в два раза превышает содержание белка в сое, а также богатый аминокислотный состав, в котором представлены все незаменимые аминокислоты. *Микроводоросль* *Platymonas viridis* также является богатым источником пищевого и кормового белка и содержит много высокомолекулярных жирных кислот.

В экспериментах со *спирулиной* (*Spirulina platensis*) при оптимальном подборе биотропных параметров ММ-излучения увеличение выхода биомассы по сравнению с контролем достигало примерно 250%, тогда как при обычных (химических) методах стимуляции приращение биомассы составляет примерно 25–30% [64,65]. Для зелёной *микроводоросли* *Platymonas viridis* наибольший прирост биомассы при оптимальных условиях облучения составлял примерно 170%. Важно, что прирост биомассы под воздействием ММ-волн сопровождается экскрецией в культуральную среду биологически активных соединений – белков, витаминов, незаменимых аминокислот. Из последних работ по обсуждаемой проблеме заслуживает внимание работа [66], выполненная на отличном методическом уровне. Она посвящена изучению воздействия ММ-волн низкой интенсивности водоросли *Nitellopsis*. Эта водоросль относится к *харовым водорослям*, которые содержат электровозбудимые клетки, достигающие больших размеров (в диаметре – до 1 мм, по длине – до 10 см [66]). Плазматические мембраны таких клеток содержат потенциал зависимые Ca^{2+} -, K^{+} -активируе-

мые Cl^- -каналы. Авторы работы исходили из того, что плазматическая мембрана, которая содержит большое количество молекулярных систем пассивного и активного ионного транспорта, отражает возможные изменения клеточного метаболизма, который может быть чувствительным к воздействию ММ-волн. В работе изучались зависимости хлорного тока от различных биотропных параметров ММ-волн (в частотном диапазоне 38–78 ГГц при плотности мощности примерно 5 мВт/см^2), а также от температуры. В ходе экспериментов был получен ряд интересных результатов:

а) после большого временного перерыва примерно в 30 лет [57] был подтверждён нетепловой, резонансный характер биологического эффекта от частоты электромагнитного излучения с эквивалентной собственной добротностью, равной примерно 50 единицам (изменение хлорного тока в несколько раз);

б) при изменении частоты излучения биологический эффект может изменить знак на противоположный;

в) биологический эффект наблюдается при времени облучения более 30 мин;

с) зафиксирована зависимость биологического эффекта от фазы развития биологического объекта.

В работе сделан важный вывод о том, что первичной мишенью воздействия ММ-волн может быть некоторая система регуляции, предположительно – АТФазная активность хлоропластов, что коррелирует с выводами работы [90], полученными в опытах с зелёными клетками комнатных растений. Таким образом, можно сделать вывод о том, что биологические эффекты, полученные экспериментально на различных микроорганизмах и клеточных культурах, имеют много идентичных закономерностей.

Первые экспериментальные результаты, полученные отечественными исследователями по воздействию низкоинтенсивных ММ-волн на микроорганизмы, прежде всего данные работ [57,58], были настолько сенсационными, что породили большое количество исследо-

ваний с микроорганизмами, а также по изучению физико-химических механизмов, которые были проведены в различных странах (например, [67–71]). Корректные и фундаментальные результаты были получены немецкими исследователями. В частности, в этих работах был подтверждён нетепловой, резонансный характер биологических эффектов, а также получены оригинальные данные по механизмам биологических эффектов.

2.2. Экспериментально-клинические исследования

Эти исследования имели принципиальное значение, так как они подготовили почву для применения низкоинтенсивных ММ-волн в условиях клиники. Одним из первых учёных, начавших изучение биологических эффектов кроветворной системы млекопитающих при воздействии низкоинтенсивных ММ-волн, была Л.А. Севастьянова [72–74]]. Ею были получены первые обнадеживающие результаты по ослаблению с помощью предварительного ММ-воздействия последствий влияния рентгеновского излучения на костный мозг. В исследованиях, длившихся около 20 лет, использовано свыше 12 000 экспериментальных животных (мышей и крыс). Оценка реакции кроветворной системы проводилась по количеству и состоянию клеток костного мозга (кариоцитов) правой или левой бедренной кости. Основные экспериментальные результаты, полученные в этих экспериментах, можно представить следующим образом.

Зависимость биологического эффекта от плотности потока мощности ММ-волн. Был обнаружен пороговый характер зависимости эффекта, а при последующем увеличении мощности излучения отмечался выход на плато, в пределах которого эффект оставался неизменным.

Зависимость биологического эффекта от длины волны. Измерения проводились в диапазоне длин волн

7,07–7,26 мм, где было обнаружено 9 резонансных длин волн при комбинированном воздействии ММ-волн и рентгеновского излучения. На этих длинах волн отмечалось почти двукратное увеличение числа клеток костного мозга по сравнению с количеством клеток после воздействия только рентгеновского излучения.

Биологические эффекты при воздействии ММ-волн в режиме частотной модуляции. Оказалось, что биологический эффект не изменяется при переходе от фиксированной (резонансной) длины волны к частотной модуляции этой длины волны.

Зависимость длины волны от локализации воздействия ММ-излучением. Эксперименты показали, что для каждого участка тела животного существует оптимальная длина волны, на которой биологический эффект максимален.

Зависимость биологического эффекта от площади облучения ММ-волнами. Общее и локальное облучение при комбинированном (ММ-волны и рентгеновское излучение) воздействии давали практически одинаковый биологический эффект. Однако критичность в установке рупора генератора относительно тела животного оказалось менее выраженной для режима частотной модуляции.

Результаты проведенных экспериментов позволили сформулировать положение о том, что ММ-волны в комбинации с рентгеновским излучением обладают протекторным действием по отношению к клеткам костного мозга. В связи с этим представлял большой интерес исследовать возможности ММ-волн в комбинации с противоопухолевыми препаратами. Известно, что на клеточном уровне обнаружено много общего в проявлении влияния рентгеновского излучения и противоопухолевых препаратов. Оказалось, что при определённых параметрах воздействия ММ-волны снимают поражающее действие противоопухолевых препаратов на кроветворную систему, повышают функциональную активность стволовых клеток.

Так, например, количество кариоцитов всегда оказывалось выше в группе с комбинированным воздействием по сравнению с действием *только* рентгеновского излучения или противоопухолевых препаратов. Облучение животных только ММ-волнами не вызывало изменений в кроветворной системе. Полученные экспериментальные результаты показали, что ММ-волны не вызывают нарушений в здоровых клетках и тканях. Были проведены также эксперименты по исследованию влияния ММ-волн на кроветворную систему животных со злокачественными новообразованиями при комбинированном действии с рентгеновским излучением и противоопухолевыми препаратами. Получены следующие важные результаты.

Влияние ММ-волн на перевивные опухоли и кроветворную систему со злокачественными новообразованиями. ММ-волны не способствуют торможению роста опухоли, но и не стимулируют её рост. Однако у облучённых ММ-волнами животных продолжительность жизни возросла на 10-15 дней по сравнению с контрольной группой.

Комбинированной воздействию ММ-волн с рентгеновским излучением на перевитую опухоль и кроветворную систему животных со злокачественными новообразованиями показало, что важным является последовательность воздействия. Усиленное торможение роста опухоли до 80-90% наблюдалось при такой последовательности: «рентгеновское излучение – ММ волны». При последовательности «ММ волны – рентгеновское излучение» снижение количества клеток костного мозга практически не отмечалось в отличие, например, от действия только рентгеновского излучения. Исследование периферической крови показало, что только при комбинации «ММ-волны – рентгеновское излучение» количество эритроцитов и лейкоцитов было больше, чем при действии рентгеновского излучения или при последовательности «рентгеновское излучение – ММ-волны».

При комбинированном действии ММ-волн с рентгеновским излучением на перевитую опухоль саркома-45 и кроветворную систему животных со злокачественными новообразованиями оказалось, что только двойная комбинация «ММ-волны – рентгеновское излучение – ММ-волны» позволила получить наряду со снижением поражения кроветворной системы усиление торможения роста опухолей в большей степени, чем при действии только рентгеновского излучения. Было показано также, что при комбинированном действии ММ-волн с противоопухолевым препаратом *циклофосфаном* на животных с *саркомой-180* происходит снижение токсичности препарата и одновременно усиливает его действие на опухоль.

А. П. Игнашева и Е. И. Соболева исследовали выживаемость летально облучённых мышей после трансплантации криоконсервированного костного мозга, подвергнутого воздействию ММ-волнами после размораживания [75]. В контрольной группе без трансплантации костного мозга все животные погибли от острой лучевой болезни к 15-м суткам при ярких клинических проявлениях: потери массы тела, адинамичности движения, поредении шерсти. При трансплантации размороженного костного мозга без облучения выживаемость животных к 30-м суткам составляла 45%, тогда как использование размороженного и облучённого ММ-волнами костного мозга привело к 53% выживаемости животных.

Группой учёных под руководством В.И. Говалло на базе ЦНИИ травматологии и ортопедии были проведены эксперименты по влиянию ММ-волн на лимфоциты и фибробласты человека [76]. Показано, что под действием ММ-волн лимфоциты и фибробласты человека продуцируют фактор – *фитокин*, усиливающий рост и функциональную активность аналогичных клеток. Активирующий фактор относится к категории клеточных регуляторов – цитокинов и продуцируется в цитоплазме клеток. Есть основания считать, что именно с фитоки-

нами связаны иммуномодулирующие эффекты ММ-волн при лечении, например, гнойных инфекционных осложнений. Так, при применении ММ-волн при тяжёлых видах боевой патологии, осложнённой гнойно-раневой инфекцией, были получены следующие результаты: продолжительность отдельных фаз раневого процесса, включая длительно не заживающие раны, сократилась в 1,502 раза по сравнению с контрольной группой; выраженное стимулирующее действие ММ-волн на регенерацию тканей; 100%-ное приживление трансплантатов; значительное снижение рецидивов после хирургического вмешательства и т.д. Антимикробное действие ММ-волн реализуется не путём прямого влияния на патогенную микрофлору, а опосредованно – благодаря усилению общей реактивности организма и улучшению жизнеспособности тканей в области раны.

Одним из ярких примеров иммуномодулирующего действия ММ-волн явилась работа авторов из Ленинграда по исследованию защитного и профилактического действия ММ-волн при гриппозной инфекции [77]. Было показано, что при аппликации вируса А в смертельной дозе можно получить защитный эффект как при облучении здоровых животных до их заражения, так и при облучении уже заражённых животных. Более того, было показано, что при эпидемиологической ситуации гриппозной и острой респираторной инфекции у группы больных, проходящих лечение по поводу язвенной болезни желудка, миллиметровая терапия приводит к значительному уменьшению заболеваемости гриппом (почти в 2 раза).

При лечении атопического дерматита и применении ММ-волн была отмечена положительная динамика и стойкое улучшение иммунологических показателей как со стороны клеточного, так и гуморального иммунитета [78].

Иммуномодулирующий эффект ММ-волн был продемонстрирован также в ЦНИИ туберкулёза РАМН при лечении саркоидоза лёгких. Показано, что под действи-

ем ММ-волн отмечалась универсальная стимуляция функциональной активности иммунокомпетентных клеток [79].

На базе Института Высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Н.Н. Лебедевой проводились экспериментальные исследования по изучению сенсорных и субсенсорных (ЭЭГ) реакций здорового человека на периферическое воздействие низкоинтенсивного ММ-излучения [80–84]. Основные результаты этих исследований можно представить в обобщённом виде следующим образом:

человек способен достоверно различать ММ-сигналы от пустых проб;

чувствительность человека к ММ-излучению определяется как его индивидуальными особенностями, так и биотропными параметрами поля;

модальность возникших ощущений (давление, прикосновение, покалывание, жжение) свидетельствует об участии в рецепции ММ-волн кожного анализатора;

латентный период реакции на ММ-стимул составляет десятки секунд;

существует сенсорная асимметрия при восприятии ММ-излучения в зависимости от того, на какую руку осуществлялось воздействие.

По анализу возникающих у испытуемых субъективных ощущений можно думать, что ММ-стимул «запускает» механорецепторы, болевые рецепторы и свободные нервные окончания – немиелинизированные эфферентные волокна без корпускулярных структур на конце. На основании экспериментальных данных сделан вывод о том, что проведение и восприятие ММ-стимула обеспечивает филогенетически старая неспецифическая экстралемнисковая система. В рамках этого предположения, учитывая, что в экстралемнисковой системе существуют тесные связи с лимбической системой, одной из основных функций которой является эмоциональная окраска воспри-

ятия, можно объяснить и положительные эмоции, возникающих у больных при проведении электромагнитной терапии, о чём так часто сообщают врачи.

Выраженное антистрессорное действие ММ-волн было получено группой исследователей под руководством Н.А. Темурьянц [85] в экспериментах по влиянию этого излучения на развитие гипокинетического стресса у крыс. Выраженность антистрессорного действия ММ-волн зависела от индивидуальных особенностей высшей нервной деятельности крыс и была наибольшей у крыс с низкой и средней двигательной активностью. Более подробную информацию об экспериментально-клинических исследованиях в области биологических эффектов низкоинтенсивных ММ-волн можно найти в обзоре [86].

2.3. Экспериментальное исследование влияния миллиметровых наносекундных импульсов с большой пиковой мощностью

Как уже указывалось, одним из перспективных направлений в современной вакуумной электронике является разработка релятивистских приборов. К настоящему времени существует большое разнообразие приборов в СВЧ и КВЧ диапазонах. Большинство релятивистских приборов работают в импульсном режиме – с длительностью импульсов от единиц наносекунд до нескольких микросекунд. Пиковая мощность в релятивистских приборах может достигать единиц ГВт (десятков МВт во всём ММ-диапазоне) при наносекундных длительностях и сотен кВт при мкс длительностях импульсов. В непрерывном режиме работы релятивистские генераторы обеспечивают выходную мощность до единиц-десятков кВт. Такие большие значения выходной мощности находят применение не только в традиционных областях (радиолокация или радионавигация), но и в медико-биологических исследованиях.

В течение почти сорока лет в ИРЭ РАН проводятся исследования биофизических механизмов воздействия низкоинтенсивных электромагнитных волн ММ-диапазона на различные биологические объекты. В результате этих исследований был обнаружен ряд не известных ранее физических эффектов, сформулировано несколько теоретических положений принципиального характера, которые позволяют в общих чертах объяснить высокую чувствительность живых структур к низкоинтенсивному (нетепловому) ММ-излучению. Оригинальная идея изучения нетепловых эффектов наноимпульсного электромагнитного излучения с высокой пиковой мощностью была высказана Н.Д. Девятковым, З.С. Черновым и В.В. Файкиным. Такая мощность электромагнитного излучения позволяет создавать в волноводе стандартного сечения огромную напряженность электрического поля – до $10^4 \dots 10^5$ В/см, что сравнимо с естественной квазистатической напряженностью электрического поля в биологических клеточных мембранах (10^5 В/см). Для этой цели в ИРЭ РАН разработаны (под руководством В.А. Черепенина) вакуумные релятивистские генераторы типа ЛОВ-О с холодным катодом с взрывной эмиссией. В приводимых ниже экспериментах были использованы также релятивистские генераторы, предоставленные Институтом сильноточной электроники СО РАН.

Такие импульсы могут оказаться уникальным инструментом для воздействия на биологические объекты. Энергия импульса из-за малой длительности мала (от нескольких десятых до единиц джоуля) и эффекты обычного интегрального нагрева, как и в случае использования низкоинтенсивного непрерывного миллиметрового излучения, практически исключены из-за большой скважности следования импульсов (2–6 импульсов в минуту).

Побудительным мотивом постановки биологических экспериментов с мощными наноимпульсами явилось приведенное выше положение о роли плазма-

тических клеточных мембран и мембранных процессов в обеспечении высокой чувствительности биологических объектов к низкоэнергетическому электромагнитному воздействию в КВЧ-диапазоне. Действительно, возбуждение нервных клеток, окислительное фосфорилирование в митохондриях, фагоцитоз, проникновение вирусов в клетки – все эти и многие другие мембранные процессы прямо связаны с мембранными потенциалами и поэтому чувствительны к изменениям профиля электрического поля внутри и на поверхности мембраны.

Основные результаты экспериментальных исследований [87–88]:

А. Первые эксперименты с изолированной кожей лягушки.

В первом эксперименте изучалось воздействие наносекундного электромагнитного излучения сантиметрового диапазона на изолированную кожу лягушки. В качестве источника излучения использовался релятивистский генератор типа ЛОВ-О с продольным магнитным полем со следующими параметрами: ускоряющее напряжение – 300 кВ, рабочий ток – 1,5 кА, мощность излучения в импульсе – 30 МВт, длина волны излучения – 3 см (частота равна 10 ГГц), длительность – 10 нс. Расчёты показывают, что при воздействии одиночного СВЧ-импульса, например, на 1 г воды, приращение температуры не превышает 0,01°C при поглощении 0,1 части падающей мощности.

Кожа лягушки широко используется для изучения мембранных транспортных процессов. В первой серии экспериментов изучали трансэпителиальный перенос ионов натрия. Образцы кожи из брюшка лягушки, омываемой азрируемым раствором Рингера, во фторопластовых держателях помещались в круглый волновод так, что максимальная напряжённость поля волны типа H_{01} в круглом волноводе составляла примерно 10^5 В/см. Контрольные образцы располагались вблизи генератора таким образом, чтобы исклю-

чить воздействие сантиметрового излучения, но при этом сохранялось бы воздействие других внешних факторов (слабое рентгеновское излучение от высоковольтного источника питания и импульсные магнитные поля системы фокусировки электронного пучка, сопутствующие генерации сантиметровых колебаний). Во второй серии экспериментов 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 ионов натрия, сопровождаемый осмотическим потоком воды, был направлен наружу и приводил к уменьшению массы мешочков. Мешочки размещались в плоскости рупора антенны в области максимального электромагнитного поля.

В каждой серии проводилось по 8 опытов. В опытах первой серии сантиметровое излучение вызывало обратимую активацию трансэпителиального активного переноса ионов натрия. Контрольное выдерживание образцов кожи на воздухе без воздействия импульсов излучения к таким результатам не приводит. Во второй серии облучение, например десятью импульсами, мешочков из кожи лягушки вызывало ускорение снижения их массы на 50–100 % по сравнению с контролем. Этот результат можно объяснить либо ускорением активного транспорта ионов Na^+ , либо увеличением проницаемости кожи для молекул воды. Ускорение трансэпителиального переноса Na^+ может быть, в свою очередь, связано как с увеличением активности транспортной АТФазы, так и повышением проницаемости мембран эпителиальных клеток для ионов Na .

Позднее были проведены эксперименты с эритроцитами; изучалось воздействие наноимпульсного излучения сантиметрового диапазона на «залечивание» мембран эритроцитов, предварительно повреж-

дённых электрическим пробоем. Исследовалось влияние наносекундных сантиметровых импульсов на адгезию (агрегацию) эритроцитов в растворе сахарозы. Адгезия клеток является результатом физико-химических взаимодействий мембран, этот процесс лежит в основе явлений установления, поддержания и разрушения межклеточных контактов. Адгезия играет решающую роль в процессах роста, развития и морфогенеза тканей, а также в регуляции процессов деления клеток в тканевых системах, в транспорте веществ через слой эпителиальных или эндотелиальных клеток и многих других биологических процессов на клеточном и тканевом уровнях. В результате этих экспериментов было показано, что обработка густой суспензии эритроцитов наносекундными импульсами увеличивает скорость агрегации клеток, причём агрегируют только эритроциты с неповреждёнными мембранами. Важный результат заключается в том, что наносекундные импульсы способны «залечивать» мембраны эритроцитов. Предварительно повреждённые в результате электрического пробоя эритроциты восстанавливаются; по-видимому, высокая напряжённость электрического поля электромагнитного излучения вызывает некоторую структурную перестройку мембран эритроцитов, которая приводит к способности клеток к агрегации. Этот результат может иметь большое практическое значение в тех областях медицины, биологии и биофизики, где учёт межклеточных контактов является принципиальным (в первую очередь это относится к проблеме онкологических заболеваний и разработке эффективных методов их лечения).

Результаты приведенных выше первых экспериментов были признаны обнадеживающими, что послужило основанием для постановки экспериментов с более сложными и важными с практической точки зрения биологическими объектами, а также с использованием ММ-генераторов.

Б. Эксперименты с микроорганизмами – возбудителями онкологических заболеваний у лабораторных животных.

После первых и успешных экспериментов с электромагнитными наноимпульсами, а также в связи с приведенными выше соображениями о роли межклеточных контактов в развитии ряда тяжёлых заболеваний было принято решение о постановке экспериментов по воздействию нового вида электромагнитного излучения на злокачественные образования. ИРЭ РАН был установлен тесный научный контакт с Московским научно-исследовательским онкологическим институтом им. П. А. Герцена, в котором ранее была проведена апробация применения низкоинтенсивных миллиметровых волн для лечения онкологических заболеваний. Эта работа завершилась созданием соответствующих методических рекомендаций, утверждённых МЗ РФ.

В новой работе медицинскую часть возглавил профессор С. Д. Плетнёв, а физико-техническую – академик РАН Н. Д. Девятков и профессор З. С. Чернов.

Идеология проведенных экспериментов заключалась в том, чтобы выяснить возможность торможения в развитии злокачественной опухоли и её рассасывания под действием электромагнитных наноимпульсов. Эта идеология подкреплялась следующими двумя принципами, вытекающими из многочисленных данных по развитию опухолей: а) злокачественное развитие обратимо; б) злокачественные клетки отличаются от здоровых резким 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 наноимпульсно-

го излучения можно перестроить плазматические мембраны клеток таким образом, чтобы перевести их в условия нормальной дифференцировки и обеспечить контактное торможение и, тем самым, сдвинуть физический и химический гомеостаз к норме.

В экспериментах использовался малогабаритный импульсный релятивистский генератор в КВЧ-диапазоне с длиной волны $\lambda = 8$ мм и напряжённостью электрического поля волны в точке приложения рупорной антенны к телу подопытного животного $E = 20$ кВ/см. Генератор позволял получать импульсы с длительностью до 10 нс с передним фронтом порядка 1 нс при частоте повторения импульсов 6 имп/мин и пиковой мощностью 4–5 МВт. Опыты проводились на крысах линии Вистар, которым прививали штамм саркомы Уокера. Опытное животное помещалось перед выходным рупором релятивистского генератора. Облучению подвергался участок тела (правое бедро) диаметром порядка 3–5 см в месте введения штамма. Количество злокачественных клеток штамма в каждой дозе варьировалось от 50 тысяч до 5 тысяч; такая же доза вводилась каждому контрольному животному, которое не подвергалось облучению. В дальнейшем контрольные животные содержались в условиях, аналогичных для облучённых животных. Во время одного сеанса облучения использовалось 43 импульса с промежутком между импульсами 40 с.

На рис. 18 показана типичная зависимость развития объёма опухоли во времени для облучённых (сплошная ли-

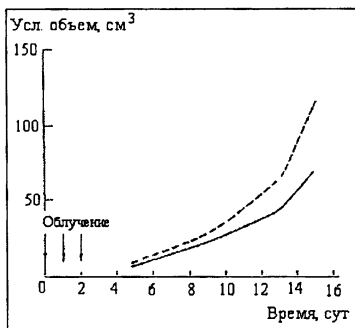


Рис. 18. Торможение во времени роста опухоли облученных животных наноимпульсным излучением ($\lambda = 8$ мм) по сравнению с контролем

ния) и контрольных животных (пунктирная линия) для случая $\lambda = 8$ мм. Как видно из рисунка, облучение животных приводит к замедлению роста опухоли в 1,5 раза по сравнению с контрольными животными. Как показали следующие эксперименты, при этом и продолжительность жизни облучённых животных возрастала примерно на 25–30 %. Теперь предстояло ответить на вопрос, действует ли излучение непосредственно на злокачественные клетки или же оно влияет, в основном, на иммунную систему животного? Принималось во внимание следующее важное обстоятельство: миллиметровое излучение сильно поглощается в тонком слое кожи, где на долю воды приходится до 90 %, а сама кожа является неотъемлемой и активной компонентой всей иммунной системы живого организма. С этой целью был поставлен такой эксперимент: сначала облучали подопытное животное ($\lambda = 8$ мм и 15 мм), а потом ему же прививали суспензию из опухолевых клеток. В результате экспериментов было показано, что уже на пятый день после прививки объём опухоли был значительно меньше по сравнению с контролем (примерно в два раза), а время жизни предварительно облучённых животных заметно выше. Затем эксперименты *in vitro* были для сравнения продолжены с релятивистским генератором в сантиметровом диапазоне, непосредственно примыкающем к ММ-диапазону (с длиной волны излучения $\lambda = 3$ см). В опытах, проведенных с клетками карцино-саркомы Уокера, перевитой крысам Вистар, получено замедление роста опухоли у облучённых животных примерно в 1,5 раза по сравнению с контролем, а средний срок жизни у облучённых животных был примерно на 25 % больше, чем у контрольных. Кроме того, в ряде случаев у облучённых животных наблюдалась стабилизация роста опухоли в течение 7–11 дней.

Таким образом, из анализа приведенных выше экспериментов следует фундаментальный вывод о том, что за эффект торможения перевитой опухоли

под воздействием низкоэнергетического наноимпульсного электромагнитного излучения ответственны два фактора: мобилизация защитных систем организма (повышение иммунитета) и непосредственное воздействие электромагнитного излучения на сами злокачественные клетки.

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 одновременного воздействия таких излучений на злокачественные опухоли. Эксперименты проводились на 50-ти беспородных самках крыс (альвеолярный слизистый рак печени, не метастазирующий РС-1) и 77 мышах линии BDF-1 (метастазирующая карцинома лёгкого Льюиса, мышьяная LLC). В качестве генераторов низкоинтенсивного непрерывного КВЧ-излучения использовались аппараты «Явь» с длинами волн 5,6 и 7,1 мм, имеющие выходную плотность мощности около 10 мВт/см². Воздействие непрерывным излучением проводилось одновременно с наноимпульсным – длительность и количество сеансов было одинаковым. В опытах с крысами дополнительно к воздействию электромагнитным излучением использовался химиопрепарат эндоксан, который вводился всем группам животных, кроме одной контрольной, не подвергавшейся никакому воздействию. В опытах с мышами применялось как моновоздействие электромагнитными 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 89,5 % при $\lambda = 7,1$ мм и 91,9 % $\lambda = 5,6$ мм, так и при воздействии наноимпульсным излучением – до 89,4 % в опытах с использованием эндоксана по сравнению с контролем.

Результаты детальных экспериментов на мышах представлены на рис. 19 (1 – моноимпульсное воздействие СВЧ; 2 – воздействие только КВЧ на длине волны излучения $\lambda = 5,6$ мм; 3 – воздействие только КВЧ на длине волны излучения $\lambda = 7,1$ мм; 4 – комбинированное воздействие СВЧ и эндоксана; 5 – комбинированное воздействие КВЧ излучения на длине волны $\lambda = 5,6$ мм и эндоксана; 6 – комбинированное воздействие КВЧ излучения на длине волны $\lambda = 7,1$ мм и эндоксана; 7 – воздействие только эндоксана; 8 – контроль). Как видно из рисунка, в группе, в которой использовалось излучение с длиной волны $\lambda = 7,1$ мм, торможение роста опухоли оказалось заметно ниже по сравнению со всеми другими случаями. Комбинация непрерывного КВЧ или сантиметрового облучения с химиопрепаратом (эндоксаном) даёт наилучший терапевтический эффект. Экспериментально было показано также, что при воздействии как импульсным, так и непрерывным излучением, как с химиопрепаратами, так и при моновоздействии электромагнитным излучением степень метастатического поражения лёгких у мышей уменьшается в среднем на десятки процентов. Аналогичные результаты были получены и при использовании наносекундного излучения на несущей частоте ММ-излучения при $\lambda = 8$ мм.

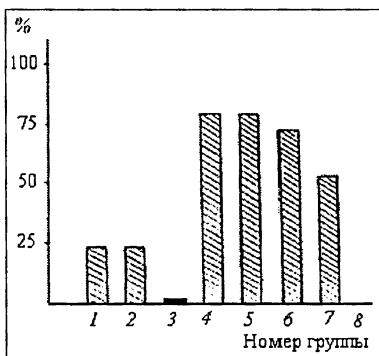


Рис. 19. Уменьшение степени метастатического поражения легких у мышей под воздействием электромагнитных излучений и химиопрепарата

Исключительно важным было установить, не вызывает ли каких-либо побочных эффектов воздействие на экспериментальных животных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Для этого проводились эксперименты на мышах, в которых изучалось влияние СВЧ-излучения на рост опухоли. В результате было установлено, что воздействие СВЧ-излучения на опухоли не вызывает побочных эффектов. Аналогичные результаты были получены и при использовании наносекундного излучения на несущей частоте ММ-излучения при $\lambda = 8$ мм.

Исключительно важным было установить, не вызывает ли каких-либо побочных эффектов воздействие на экспериментальных животных наносекундных импульсов СВЧ-излучения. Для этого проводились эксперименты на мышах, в которых изучалось влияние СВЧ-излучения на рост опухоли. В результате было установлено, что воздействие СВЧ-излучения на опухоли не вызывает побочных эффектов. Аналогичные результаты были получены и при использовании наносекундного излучения на несущей частоте ММ-излучения при $\lambda = 8$ мм.

ного излучения. Для этого были поставлены специальные эксперименты на 96 крысах Вистар (пять групп облучённых в разное время животных). Животные подопытной группы получили облучение в количестве 387 импульсов. Наблюдение за облучёнными животными, проводившееся в течение более одного года, не выявило никаких видимых изменений ни в поведенческих реакциях животных, ни в их общем состоянии. Забой животных для контроля был сделан через один год после облучения. Не были обнаружены также какие-либо патолого-анатомические изменения в печени, почках, надпочечниках, органах иммуннокомпетентной системы (селезёнка, лимфатические узлы, тимус) по сравнению с соответствующим данными возрастного контроля.

2.4. Биологические эффекты низкоинтенсивного ММ-излучения

В результате многочисленных экспериментов с микроорганизмами было установлено, что живые объекты обладают повышенной чувствительностью к воздействию слабых электромагнитных полей в ММ-диапазоне длин волн. Пороговое значение плотности мощности в разных экспериментах менялось от единиц микроватт (мкВт) до единиц милливатт (мВт) на квадратный сантиметр облучаемой поверхности. В первых экспериментах использовалась простейшая форма электромагнитной волны в виде чисто синусоидального колебания, и лишь значительно позднее стали применять более сложные виды сигналов с различными видами амплитудной, импульсной и частотной модуляцией. Был обнаружен ряд важных биологических эффектов, которые оказались ключевыми для понимания механизмов взаимодействия ММ-волн с живыми системами и определили в значительной степени научную и практическую направленность всех работ в этом направлении. Перечислим наиболее существенные из биологических эффектов:

а) биологический эффект сильно зависит от частоты электромагнитного колебания и часто такая зависимость имеет вид острой резонансной кривой;

б) на зависимости биологического эффекта от мощности электромагнитной волны часто наблюдается достаточно протяжённый участок (плато), в пределах которого эффект воздействия слабо зависит от мощности волны (такие особенности характерны для систем обработки цифровой информации (цифровых линий передач), когда срабатывание входного устройства происходит при превышении амплитуды входного сигнала порогового значения и некотором «запасе» значений сигнала по амплитуде (плато); по аналогии с такими устройствами исследователями был сделан принципиальный вывод том, что воздействие низкоинтенсивных ММ-волн на биологические объекты носит информационный характер, когда отсутствует нагрев облучаемого объекта, то есть эффект воздействия не является энергетическим (тепловым);

в) эффект воздействия носит кумулятивный, то есть накопительный характер;

г) в опытах со сложно организованными биологическими объектами (экспериментальные животные, домашние и сельскохозяйственные животные, человек) было показано, что эффект воздействия зависит от области (места) облучения;

д) воздействия носит пролонгированный характер; этот эффект был обнаружен, в частности, в опытах с микроводорослями, где было показано, что в последующих посевах сохраняется эффект, зарегистрированный в первом посеве; образно говоря, «внуки» помнят, что когда-то ММ-волнами облучали «дедушек и бабушек»;

е) применительно к организмам любой сложности организации биологический эффект зависит от фазы развития;

ж) чем больше физиологические показатели организма отличаются от нормы, тем больше биологи-

ческий эффект от воздействия на него ММ-излучения;

з) если нарушаются какие-либо временные параметры физиологических процессов, то при воздействии ММ-волн наблюдается синхронизация этих процессов.

Помимо этих биологических эффектов, которые носят принципиальный характер и определили в будущем направленность всех без исключения научных и практических работ, был найден ряд других, не менее важных закономерностей, которые частично уже были упомянуты в предыдущих разделах. Однако для целостности восприятия этого материала имеет смысл ещё раз кратко повторить их и перечислить некоторые новые:

Основные биологические эффекты можно представить следующим образом:

- *Сильное поглощение КВЧ-излучения водой и водными растворами как органических, так и неорганических веществ.* При поглощении излучения водой энергия волны преобразуется во вращательную, поступательную и либрационную степени свободы. Например, плоский слой воды толщиной в один миллиметр ослабляет ММ-излучение на 20 дБ при $\lambda = 8$ мм и 40 дБ при $\lambda = 2$ мм. Этот факт имеет большое биологическое значение: достаточно напомнить, что все биологические организмы содержат большое количество воды. Например, кожа человека более чем на 65% состоит из воды. При облучении кожи всё излучение практически полностью поглощается в слое кожи толщиной 0,5...1 мм.

- *Нарушение закона аддитивности поглощения миллиметровых волн растворителем (водой) и растворёнными веществами.* В зависимости от конкретного типа раствора реальное поглощение может быть больше или меньше аддитивного; поглощение определяется характером межмолекулярного взаимодействия растворителя и растворённого вещества. Дефицит поглощения в водном растворе может сви-

детельствовать, например, о том, что часть молекул воды находится в связанном состоянии, что и приводит к уменьшению поглощения из-за потери молекулами воды вращательных степеней свободы.

Превышение поглощения над аддитивным может свидетельствовать о «разогреве» отдельных молекул или молекулярных групп за счёт появления дополнительных степеней свободы (в основном, вращательных).

- *Синтез биологически-активных веществ иммункомпетентными клетками.* Детальные исследования по этой проблеме изложены в [89]. Этот факт был подтверждён и в других работах, а косвенным подтверждением является полилечебный характер КВЧ-терапии, а также повышение неспецифической резистентности организма при лечебном воздействии ММ-волн низкой интенсивности.

- *Изменение метаболизма микроорганизмов.* Этот факт отмечается практически во всех экспериментальных исследованиях с микроорганизмами; ММ-волны активно влияют на процессы жизнедеятельности. В результате облучения микроорганизмы становятся продуцентами биологически активных веществ, что нашло применение, например, в различных биотехнологических процессах.

- *Синтез АТФ в клетках зеленого листа.* Впервые влияние излучения на синтез АТФ было зафиксировано в эксперименте на листьях комнатного растения *Balsaminus* [90]. Как известно, АТФ является универсальным химическим источником энергии в живой клетке. Увеличение синтеза АТФ под действием ММ-волн имеет определяющее значение в жизнедеятельности организмов, что находит косвенное подтверждение в лечебной практике (нормализация процессов жизнедеятельности больного организма), а также в эксперименте (повышение синтеза биологически активных веществ).

- *Повышение урожайности сельскохозяйственных культур (например, при предпосевной обработке семян).* Первые наблюдения в этом направлении были

зафиксированы, по-видимому, в работе [91]. Эксперименты проводились с различными комнатными растениями. В работе [92] приводятся данные о стимулирующем влиянии ММ-волн как на всхожесть семян популярных огородных культур, так и на их урожайность. В ряде работ аналогичные результаты получены и для других семян растений и деревьев.

- *Изменение реологических свойств кровеносных капилляров.* Экспериментально обнаружен резонансный эффект поглощения ММ-волн в диэлектрических капиллярах, имитирующих капилляры в тканях организма. Эквивалентная добротность для резонансных пиков достигает очень высоких значений – порядка 10^3 – 10^4 . Заметим, что такие значения добротности не так просто получить в металлических объёмных резонаторах в СВЧ- и КВЧ-диапазонах. Резонансное поглощение для воды и различных водных растворов сопровождается значительным уменьшением сил адгезии внутренней стенки капилляра и протекающей жидкости. Механизм этого феномена до сих пор остаётся невыясненным.

Этот «капиллярный» эффект может использоваться для объяснения известного медицинского факта – лечения облитерирующего эндартериита с помощью ММ-волн. В работе [93] этот эффект предлагается использовать для измерения высокочастотной мощности в прямоугольных волноводах.

- *Возбуждение рецепторов ЦНС и биоэлектрический отклик в коре больших полушарий.* Естественно возникает вопрос, каким образом информация из тонкого слоя кожи передаётся к внутренним органам. Участие центральной нервной системы (ЦНС) человека в реализации эффектов воздействия ММ-волн на организм обсуждается в [80]. Здесь показано, что 80% здоровых испытуемых достоверно различают на уровне ощущения воздействие низкоинтенсивных ММ-волн (сенсорная индикация), при этом выявлена сенсорная асимметрия такого восприятия. Кроме того,

обнаружено влияние ММ-излучения на пространственно-временную организацию биопотенциалов мозга при периферическом воздействии – развитие неспецифической реакции активации в коре головного мозга, т.е. повышение ее тонуса. В соответствии с этой работой рецепторами ЦНС, воспринимающими ММ-волны, являются болевые рецепторы (ноцицепторы) и механорецепторы. В реализации ММ-воздействия принимает участие, главным образом, неспецифическая соматосенсорная система, которая связана практически со всеми областями коры головного мозга.

- *Участие спинного мозга в восприятии воздействия миллиметровых волн.* Многообещающим является подход, развиваемый в [94]. Здесь авторы пытаются соединить в единую концепцию ответ целостного организма на ММ-волны низкой интенсивности, а также ряд принципиальных элементов из теории распознавания образов применительно к проблеме нейрокомпьютинга. Ключевыми являются понятия аутодиагностики (с этого, по мнению авторов, начинается процесс воздействия ММ-излучения на организм) и аутотерапии (когда организм сам начинает вырабатывать лекарственные вещества по данным аутодиагностики). В реализации этих функций активное участие принимают пластинчатые образования спинного мозга (пластины Рекседа), которые выполняют первичные функции по обработке и распознаванию информации о воздействии внешнего стимула (ММ-волн). Таким образом осуществляется функция своеобразного нейрокомпьютера, подготавливающего специфическую информацию для запуска в работу систем, регулирующих и поддерживающих гомеостаз в организме человека.

- *Запоминание однократного действия излучения («память воды»).* Впервые гипотеза о важной роли воды была высказана в 1979 г. в работе [95]. В последующих теоретических и экспериментальных исследованиях эта мысль получила дальнейшее развитие и, в частности, была обнаружена «память воды»,

которая играет принципиальную роль в понимании биофизических механизмов взаимодействия ММ-волн с живыми объектами.

- *Просветление воды и водных растворов при СПЕ-эффекте.* Сенсационными являются результаты экспериментальных и теоретических исследований возможности существования «окон прозрачности» в воде и водосодержащих объектах на собственных резонансных частотах водных кластеров (мы уже упоминали об этом в п.2.5).

- *Конвективное движение жидкости в объеме и тонких слоях.* Под действием ММ-волн во внутри- и межклеточной жидкости может возникнуть сложное конвективное движение, что снимает ограничения диффузного движения жидкости вблизи клеток и, в свою очередь, приводит к более активному переносу веществ и электрических зарядов через мембраны. Модельные эксперименты подтверждают это утверждение. Конвекция хорошо фиксируется при плотностях мощности порядка 0,5–1 мВт. Результаты таких экспериментов приводятся в работе [29].

Хочется обратить внимание на то обстоятельство, что конвекция возможна не только в объеме жидкости, но и в тонких слоях толщиной менее 1 мм при пороговых значения падающей мощности порядка нескольких десятков микроватт [96].

- *Гидратация белковых молекул под действием КВЧ-излучения.*

Известно, что дегидратация белковых молекул приводит к изменению характера работы, переводя белок из функционально активного в функционально пассивное состояние [56]. Экспериментально было показано, что воздействие ММ-волн приводит к восстановлению числа гидратации. Основанием для такого утверждения явились незавершенные эксперименты Ю.И. Хургина. Эксперимент проводился с химотрипсином, который использовался в качестве катализатора в биохимической реакции. Каталитические

возможности химотрипсина можно было регулировать, изменяя число гидратации. При уменьшении числа гидратации выход продуктов реакции, естественно, уменьшался. При облучении реакционного объёма ММ-волнами выход продуктов реакции увеличивался, что могло произойти только за счёт увеличения гидратации химотрипсина, обуславливающей повышенную ферментативную активность белка (увеличение числа гидратации за счёт преобразования энергии электромагнитной волны во вращательно-поступательную энергию молекул воды, приводящее к переводу комплекса белок-вода из функционально-пассивного в функционально-активное состояние).

- *Микротепловой массаж.* Экспериментально было показано, что при облучении кожного покрова миллиметровые волны на облучаемой поверхности распределяются неравномерно. Например, при облучении прямоугольным рупором аппарата «Явь-1» можно с помощью тепловизора зафиксировать на коже несколько тепловых экстремумов. В двух-трех максимумах перегрев может достигать нескольких градусов, хотя среднее значение прироста температуры относительно фона является несущественным. На термограмме экстремумы имеют вид точек («тепловые иглы»), которые обладают способностью перемещаться по поверхности кожи при частотной или амплитудной модуляции несущего КВЧ-излучения. По мнению автора работы [97] при это может иметь место тепловой массаж рецепторов кожи по аналогии с обычной тепловой акупунктурой.

3. МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН С ЖИВЫМИ ОБЪЕКТАМИ

3.1. Первичные эффекты взаимодействия

К настоящему времени накоплен большой объём биологических эффектов, найденных экспериментально или предсказанных теоретически, относящихся к проблеме механизмов воздействия низкоинтенсивных ММ-волн на биологические системы различной сложности организации. В предыдущих разделах книги было представлено много данных по этой проблеме.

В области миллиметровой электромагнитобиологии мы сталкиваемся с типичной научной ситуацией, когда применение на практике новых идей опережает понимание механизмов действия или функционирования нового физического фактора, лежащего в основе этих идей. Можно напомнить, как обстояло дело с открытием низкотемпературной сверхпроводимости: понадобилось примерно сорок лет, прежде чем физики смогли объяснить сущность этого явления, хотя на практике эффект сверхпроводимости использовался в различных технических областях. Можно привести ещё один показательный пример, связанный с применением лазеров в медицине. Эти приборы уже давно нашли широкое применение в медицине, и сейчас трудно найти медицинское учреждение, где бы в отделениях физиотерапии не было этих приборов. Стоит заметить, однако, что механизм воздействия лазерного излучения на организм человека очень далёк от понимания. Не будем забывать также, что как и в случае с применением лазер-

ного излучения, мы имеем дело с более сложным предметом исследования – с живыми объектами. Это обстоятельство является, конечно, слабым утешением, но, в то же время, является своеобразным алиби для тех, кто занимается биофизическими механизмами в миллиметровой области.

Прежде чем сформулировать свою концепцию биофизических механизмов воздействия ММ-волн на живые системы, имеет смысл ещё раз кратко перечислить обнаруженные ранее и в более позднее время наиболее важные биологические эффекты. С самого начала стало понятно, что мы имеем дело с эффектами воздействия слабых электромагнитных полей на живые организмы. В результате первоначальных экспериментальных исследований были обнаружены следующие эффекты: резонансный характер воздействия, наличие порога и «плато» на зависимости эффекта от мощности падающего излучения, кумулятивный характер воздействия, способность миллиметровых волн синхронизировать некоторые биологические процессы. Но самое главное событие состояло в обнаружении того фундаментального факта, что ММ-волны обладают лечебными свойствами, способны существенно влиять на разные процессы жизнедеятельности организмов, в которых имеются какие-либо отклонения от нормы жизненно важных показателей.

Перечислим биологические эффекты, детально исследованные в последние годы:

сильное поглощение ММ-волн водой и водными растворами различных органических и неорганических веществ;

нарушение аддитивности поглощения ММ-волн растворителем (водой) и растворённым веществом;

значительное увеличение поглощения ММ-волн водой и некоторыми другими жидкостями в диэлектрических капиллярах, носящее резонансный характер;

облучение микроорганизмов и живых клеток приводит к дополнительному синтезу биологически

активных веществ, в том числе отвечающих за иммунный статус организма;

появление «памяти воды» после облучения воды или водных растворов слабыми ММ-волнами; вода приобретает свойства молекулярного генератора КВЧ-излучения и может сохранять это свойство в течение нескольких дней или месяцев;

эффект стохастического резонанса может обуславливать повышенную чувствительность биологических систем к воздействию очень слабых ММ-волн («парадокс слабых доз» применительно к ММ-волнам);

фрактальность некоторых биологических структур способствует повышенной чувствительности к воздействию низкоинтенсивных ММ-волн;

собственное широкополосное тепловое излучение биологических систем способствует повышенной чувствительности биологических систем к воздействию слабых ММ-волн;

в ответной реакции организма на воздействие слабых ММ-волн основополагающую роль принадлежит спинному мозгу (нейрокомпьютинг) и ЦНС;

в кожном покрове человека имеются структуры (типа щелевых контактов), обладающие нелинейными свойствами, которые отвечают за преобразование спектра частот падающего излучения и обуславливают чувствительность организма к различным видам модуляции несущего колебания в ММ-диапазоне длин волн;

ММ-волны способны увеличивать гидратацию биомакромолекул, прежде всего белков;

кластерная природа жидкой воды, молекулы которой охвачены сеткой водородных связей, приводит к появлению эффекта «прозрачности воды» и водных растворов на некоторых резонансных частотах (СПЕ-эффект);

появление конвекции со сложным характером переноса веществ при облучении воды или водных растворов ММ-волнами с пороговым значением плотности мощности, составляющим десятки $\text{мкВт}/\text{см}^2$;

по-прежнему остаётся в силе предположение, высказанное Н.Д. Девятковым с сотрудниками и теоретические оценки Г. Фрёлиха о возможности существования в плазматических мембранах живых клеток акустоэлектрических волн или, что то же самое, существование в плазматических мембранах или отдельных её частях когерентных колебаний в КВЧ-диапазоне частот;

на основе оригинальных исследований, выполненных по воздействию ММ-волн на микроводоросли (спирулину), высказана оригинальная идея о возможном пути реализации биологического эффекта через механизм самоускорения по типу цепной реакции;

в проявлении биологических эффектов важную роль играют газовые составляющие атмосферы, прежде всего кислород и углекислый газ.

В заключение этого раздела необходимо обратить ещё раз внимание на тот факт, что максимум реликтового излучения приходится на ММ-диапазон, а также на появляющиеся в периодической печати сообщения радиоастрономов о «мощных» излучениях в ММ-диапазоне, которые приходят на Землю от удалённых космических образований. Всё это может косвенно свидетельствовать о возможной и важной роли электромагнитных колебаний в ММ-диапазоне длин волн в эволюции живой материи на нашей планете.

3.2. Биофизические механизмы

(оригинальная авторская концепция
о биофизическом механизме воздействия
низкоинтенсивных миллиметровых волн
на живые системы)

Перечисленные в предыдущем разделе биологические эффекты дают основание для формулировки следующих принципиальных обобщений:

Воздействие низкоинтенсивных волн ММ-диапазона на живые системы носит универсальный характер: биологические эффекты наблюдаются на систе-

мах различной степени сложности – от клеточного и микроорганизменного уровня до уровня целого организма. Например, в случае ММ-терапии поражает диапазон заболеваний, которые поддаются лечению с помощью ММ-волн.

Ключевая роль в достижении биологического эффекта принадлежит воде или водным растворам.

Основные «события» происходят на клеточном уровне, и здесь определяющая роль принадлежит плазматической мембране (транспорт воды, электрических зарядов и продуктов жизнедеятельности). Применительно к человеку концепцию механизма воздействия слабых ММ-волн можно представить следующим образом.

В основе концепции лежит выделение трёх основных функциональных звеньев, связанных между собой (см. рис. 20–22). Основные события происходят в кожном покрове.

Первичным приёмником ММ-волн являются молекулы воды, которые поглощают ММ-волны благодаря близости энергетических уровней вращательных степеней свободы молекул воды к квантам энергии ММ-излучения. С увеличением энергии вращательных движений молекул воды происходит «догидратация» белковых молекул различных анатомических структур (кожные рецепторы, свободные нервные окончания), благодаря чему более информационно насыщенными и помехоустойчивыми становятся электрические сигналы в нервных волокнах, связывающих кожные рецепторы с нервной сетью. Одновременно с этим срабатывает и канал возбуждения молекул воды по механизму «памяти воды», благодаря чему вода приобретает свойства молекулярного генератора КВЧ-излучения. Далее, молекулы воды, перемещаясь по капиллярам, выполняют такие же функции, как и молекулы воды в кожном покрове, только уже на уровне анатомических структур, расположенных внутри организма.

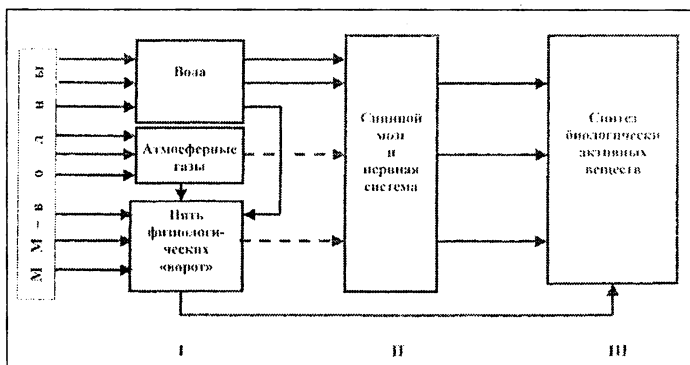


Рис. 20. Схема, иллюстрирующая авторскую концепцию биофизических механизмов воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты

Следующий «водный» канал срабатывает в случаях какого-либо заболевания человека и связан с синхронизацией водой как молекулярным генератором фрёлиховских колебаний в плазматических мембранах клеток «угасающих» КВЧ-колебаний (мы исходим из того, что когерентные колебания в плазматических мембранах клетки являются привилегией здоровых клеток и в случае заболевания эти колебания имеет устойчивую тенденцию к затуханию). Если какие-либо клетки не попадают под непосредственное воздействие ММ-волн, то роль посредника в передаче воздействия на эти клетки выполняют также возбуждённые молекулы воды. Если клетка является «самодостаточной» в том смысле, что она не нуждается в специальных командах со стороны, например, нервной системы, и может выполнять свои основные функции, то в плазматической мембране такой клетки могут поддерживаться фрёлиховские колебания под действием ММ-волн. Это может обеспечивать необходимые и достаточные условия для нормального протекания в клетке основных процессов жизнедеятельности.

тельности. К числу таких клеток можно отнести, по-видимому, иммуннокомпетентные клетки в кожном покрове (например, речь может идти о клетках Лангерганса). Это и является ключом к разгадке выражения «клетка с клеткой разговаривает на языке ММ-волн». Такие биологические эффекты, как, например, стохастический резонанс и собственное широкополосное тепловое излучение, фрактальность некоторых биологических систем, конвективное движение тонких слоёв жидкости, нарушение аддитивности поглощения ММ-волн и капиллярный эффект выполняют в рассматриваемом контексте второстепенную роль, увеличивая лишь чувствительность биологической системы к воздействию слабыми электромагнитными волнами ММ-диапазона.

Миллиметровые волны могут воздействовать на живые объекты непосредственно через пять физиологических ворот (рецепторы центральной нервной системы, клетки диффузной эндокринной системы, клетки иммунной системы, микрокапиллярное русло кровеносной системы и биологически активные точки – рис. 21). Такое воздействие может осуществляться с участием молекул воды. Выходные сигналы по механизму нейрокомпьютинга могут воздействовать или на спинной мозг или непосредственно на клетки, ответственные за синтез биологически активных веществ.

1. Рецепторы центральной нервной системы (механорецепторы, ноцицепторы, свободные нервные окончания)
2. Клетки диффузной нейроэндокринной (АПУД) системы: такие апудоциты как тучные клетки, клетки Меркеля
3. Клетки иммунной системы: кожное депо Т-лимфоцитов, клетки Лангерганса
4. Микрокапиллярное русло кровеносной системы
5. Биологически активные точки (БАТ)

Рис. 21. Физиологические «ворота»

I	II	III
<ol style="list-style-type: none"> 1. Поглощение ММ-волн 2. Гидратация белковых молекул 3. Возбуждение молекул воды по механизму «памяти воды» 4. Капиллярный эффект 5. Вынужденная конвекция 6. Синхронизация фрёлиховских колебаний в плазматических мембранах клетки 7. Резонансные эффекты 8. «Плато» на дозовых кривых 9. Микротепловой «массаж» 10. СПЕ-эффект 11. Стохастический резонанс 	<p style="text-align: center;">Нейрокомпьютинг:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Очистление полезных сигналов на пластинках Рекседа 2. Выработка команд для синтеза биологически активных веществ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Синтез биологически активных веществ 2. Стабилизация гомеостаза 3. Фрактальность анатомических структур

Рис. 22. Расшифровка трех основных звеньев

Реакция целостного организма на воздействие ММ-волн реализуется через цепочку «спинной мозговой центральной нервной системы». Основная роль этой цепочки сводится к выработке командных сигналов для синтеза биологических веществ клеточными (фармакологическими) фабриками по механизму отрицательной обратной связи с целью восстановления гомеостаза.

Рассмотрим кратко роль атмосферных газов в реализации механизмов воздействия низкоинтенсивных ММ-волн на живые объекты. Рассмотрим табл. 2 [98], в которой представлены молекулярные спектры излучения и поглощения основных газов атмосферы воздуха, оказывающих большое влияние на процессы жизнедеятельности. Как видно из таблицы, эти спектры лежат не только в КВЧ-диапазоне, но и соседних субмиллиметровом и инфракрасном диапазонах. В

этом строенном диапазоне частот обычно выделяют терагерцовый диапазон, занимающий область частот 100–10 000 ГГц (или 0,1–10 ТГц). В терагерцовом диапазоне энергия кванта примерно на порядок больше, чем в КВЧ-диапазоне. Следовательно, в терагерцовом диапазоне реакционная способность молекул будет на порядок выше, чем в КВЧ-диапазоне. В терагерцовом диапазоне находятся резонансные частоты некоторых структур живой клетки: соматические клетки млекопитающих, хромосомы различной генной активности и др.

Таблица 2. Молекулярные спектры поглощения и излучения основных газов атмосферы

Молекула	Диапазон частот линий спектра, ТГц	Число линий
Моноксид азота, NO	0,1...0,5	15
Кислород, O ₂	0,5...1,55	10
Диоксид углерода, CO ₂	0,346; 0,544; 1,27	3
Пары воды, H ₂ O (с учетом димеров)	0,4...1,475	5

Электродинамическая модель взаимодействия ММ-волн и газов атмосферы в дыхательной системе свидетельствует о том, что возбуждение газов в ММ- и терагерцовом диапазонах является одним из эффективных механизмов воздействия электромагнитных волн на живые структуры. Эта идея впервые была высказана исследователями из Саратовского центрального научно-исследовательского института измерительной аппаратуры. В этом Институте разработан уникальный панорамно-спектрометрический измерительный комплекс на квазиоптическом тракте, который позволяет проводить экспериментальные исследования воздействия низкоинтенсивных электромагнитных волн на различные биологические структуры в широком диапазоне частот, вплоть до 3 ТГц.

Роль других биологических эффектов в рамках предложенной концепции можно пояснить следующим образом.

О резонансных эффектах. Во многих экспериментально наблюдаемых случаях частотно-зависимые эффекты могут быть объяснены так называемыми «геометрическими» резонансами, обусловленными переотражениями электромагнитной волны между границами раздела в слоистых средах [99]. К таким же резонансным эффектам приводит появление «тепловых игл» при облучении системы рупорными антеннами [100]. При модуляции несущего сигнала по частоте или амплитуде такие «тепловые иглы» имеют тенденцию к хаотическому перемещению по поверхности облучения. В этом случае в системе должен существовать некоторый набор анатомических структур, характерный размер которых соизмерим с полуволной ММ-излучения в этой среде. Формально резонансный эффект можно наблюдать, если собственная частота какой-либо структуры имеет собственную частоту колебательного или вращательного движения, которая совпадает с частотой падающего излучения. Такая ситуация имеет место в случае дистального гистидина в молекуле гемоглобина [101]. Резонансный эффект может иметь место также и в случаях, когда частота поглощения электромагнитной волны какой-либо молекулой совпадает с частотой падающего излучения. Такой эффект имеет место, например, в случае с молекулой кислорода ($f_0 = 60$ ГГц – основная линия поглощения кислорода в атмосфере). Наконец, сильная частотная зависимость должна наблюдаться и в случаях, когда частота падающего ММ-излучения совпадает с собственной резонансной частотой молекулярного ансамбля типа кластеров. С такой ситуацией можно столкнуться, например, при появлении СПЕ-эффекта или когда количество молекул, образующих кластер, остаётся неизменным в узких пределах изменения температуры облучаемой системы [50].

О преодолении соотношения $h\nu \ll kT$, необходимого для реализации биологического эффекта. Этот вопрос детально обсуждался в разделе 2.5, где было показано, что это соотношение может иметь противоположный знак, если имеет место стохастический резонанс в присутствии узкополосного шумового сигнала, средняя частота которого близка к частоте падающего ММ-излучения.

О пороговом характере биологических эффектов и наличии плато на зависимости биологического эффекта от мощности падающего ММ-излучения. Пороговый эффект легко объяснить, если учесть «вредное» влияние собственных электромагнитных шумов теплового происхождения, когда не выполняются условия для появления стохастического резонанса. Что касается «плато», то и здесь вопрос решается легко: когда биологический эффект достигнут, нет необходимости в дальнейшем увеличении мощности – имеет место эффект триггера, типичный для работы биологических систем, который достаточно хорошо описан в научной литературе. Так работают, например, все цифровые линии передачи информации, что лишний раз подчёркивает информационную роль ММ-волн в процессах жизнедеятельности.

О кумулятивном характере биологических эффектов. Устойчивый характер биологического эффекта имеет место только в случае слабых воздействий. По-видимому, это – общебиологический принцип: только при слабых воздействиях возникает необходимость в «закреплении» эффекта. Представленная концепция является первым обобщающим шагом на пути построения теории воздействия низкоинтенсивных ММ-волн на живые системы. На сегодняшний день остаётся невыясненным ряд важных вопросов, решение которых позволит понять более «интимные» механизмы взаимодействия электромагнитных полей с конденсированными биологическими структурами. Так, важным представляется решение вопроса о влиянии слабых электромаг-

нитных полей, прежде всего, в ММ-диапазоне длин волн, на процессы эволюции живой материи на нашей планете. В этом плане большие перспективы мы связываем не только с ММ-диапазоном длин волн, но и терагерцовым диапазоном, в котором располагаются, в основном, вращательные и вращательно-колебательные спектры поглощения и излучения основных молекул в атмосфере Земли.

3.3. Физиологические механизмы

С каждым годом ММ-терапия завоевывает все более прочные позиции в здравоохранении: разрабатываются методики, повышающие эффективность лечения уже ставших «традиционными» для этого вида терапии заболеваний (язва желудка и 12-перстой кишки, гипертоническая и ишемическая болезни, простатиты и др.); растет список новых нозологий, при лечении которых успешно применяются ММ-волны (ревматоидные артриты-артрозы, диабет, нестабильная стенокардия, кожные заболевания, косметология, туберкулез, хирургическое лечение острых холециститов и пр.). Однако до сих пор нет четких представлений обо всей совокупности физиологических механизмов, обеспечивающих терапевтические эффекты ММ-излучения. И этому есть объяснение: слишком сложен изучаемый объект – человек – как биологическая система с большим количеством положительных и отрицательных обратных связей и уровней регуляции, а также многоплановость биологического действия низкоинтенсивных ММ-волн.

Чтобы подойти к изучению физиологических механизмов, необходимо, прежде всего проанализировать первичные физиологические мишени, которые попадают в зону действия ММ-излучения (мы здесь не рассматриваем первичные биофизические мишени). Как известно, глубина проникновения этого излучения при воздействии на кожу человека составляет 300-500 мкм, т.е. оно практически полностью поглощается в эпидермисе и верхних слоях дермы. Что же

попадает в зону прямого действия ММ-волн? Во-первых, это рецепторы центральной нервной системы (механорецепторы, ноцицепторы, свободные нервные окончания); во-вторых, клетки диффузной нейроэндокринной (АПУД) системы, в частности, такие апудоциты как тучные клетки, клетки Меркеля; в-третьих, клетки иммунной системы – кожное депо Т-лимфоцитов; в-четвертых, микрокапиллярное русло кровеносной системы; в-пятых – биологически активные точки (БАТ).

Вероятно, эти пять первичных физиологических мишеней, пять «входных ворот» в значительной степени и определяют участие соответствующих систем в реализации биологических (и терапевтических) эффектов ММ-излучения, которое играет роль своеобразного пускового фактора для каждой системы.

К настоящему моменту накопилось достаточное количество экспериментальных и клинических данных об участии и роли центральной нервной системы (ЦНС), АПУД-системы, иммунной системы и системы БАТ в биологических эффектах ММ-волн.

Так наши исследования [80–83, 86, 102–106], а также исследования других авторов (Севастьянова, 1986; Сулимова, 1993–1996; Котровская, 1994–1996; Столбиков и др., 1991; Берус и др., 1991; Островский и др., 1991 и др.) выявили сенсорные и субсенсорные реакции на периферическое воздействие низкоинтенсивных ММ-волн, сенсорную и функциональную асимметрию этих реакций; при изучении ЭЭГ-отклика обнаружили участие в реакциях подкорковых структур мозга; показали ведущую роль ЦНС при реализации биологических эффектов.

Исследование сенсорных и ЭЭГ-реакций человека на периферическое воздействие низкоинтенсивных (нетепловых) электромагнитных полей крайне-высокой частоты – 37,7 ГГц, 42,25 ГГц и 53,57 ГГц с интенсивностью 5 мВт/см² проводилось в автоматизированных экспериментах. В них принимало участие 148 практически здоровых добровольцев в воз-

расте от 17 до 35 лет. Специальное управляющее устройство производило дозированную во времени подачу ММ-сигналов и осуществляло ложные предъявления. ММ-сигналы подавались в случайном порядке с равномерным распределением. Воздействие осуществлялось на кисть правой или левой руки. С каждым испытуемым было проведено по 10 опытов, т.е. было дано в общей сложности по 200 предъявлений.

Для оценки ЭМ-чувствительности использовали показатели прочности реакции ПрР (отношение числа правильно распознанных сигналов к общему числу предъявленных стимулов) и уровня ложных тревог УрЛТ (отношение числа положительных ответов при отсутствии стимула к общему количеству пустых проб). Оценка достоверности различий проводилась с помощью непараметрических критериев (знакового критерия для парных выборок и критерия Манна-Уитни), а также *t*-критерия Стьюдента для альтернативной изменчивости.

Перед началом экспериментов с каждым испытуемым проводили тесты на моторную и сенсорную асимметрию: переплетение пальцев, «поза Наполеона», аплодирование, проба Розенбаха, тест «тиканье часов». Было выявлено, что среди испытуемых 19 левшей, 6 амбидекстров, остальные – правши.

ЭМ-чувствительность в значительной степени зависела от частоты подаваемого ЭМП – выявлено два частотных «окна прозрачности», где 80–85% испытуемых достоверно различали ЭМ-стимул от ложного предъявления – 42,25 ГГц и 53,57 ГГц.

Все амбидекстры обладали высокой ЭМ-чувствительностью, т.е. достоверно различали ЭМ-стимулы от пустых проб *при воздействии как на правую, так и на левую руку*. Остальные испытуемые разделились на 2 группы – достоверно различающие ЭМП от ложных предъявлений и не различающие. При этом испытуемые 1 группы достоверно различали ЭМП *неведущей* рукой: правши – левой, левши – правой.

Таким образом, в наших экспериментах была выявлена сенсорная асимметрия при восприятии слабых ЭМ-стимулов КВЧ-диапазона.

В опытах по изучению ЭЭГ-реакций участвовало 39 практически здоровых испытуемых обоего пола в возрасте от 20 до 35 лет. Проверка по тестам на право-леворукость показала, что 30 испытуемых были правши, остальные – левши. Экспозиция ЭМП составляла 60 мин. Воздействие осуществлялось на кисть правой или левой руки попеременно (на одну в каждом опыте). С каждым испытуемым проводили по 5 опытов с плацебо и по 10 опытов с полем, из них 5 – с воздействием на правую руку, 5 – на левую. Перед началом воздействия и сразу после его окончания проводилась запись ЭЭГ с восемью отведений по стандартной международной системе 10-20% в лобных (F_3-F_4), центральных (C_3-C_4), теменных (P_3-P_4) и затылочных (O_1-O_2) областях обоих полушарий мозга. В качестве индифферентного использовался объединенный ушной электрод. Вычисляли спектры мощности и уровень когерентности как для каждого диапазона (дельта-1, дельта-2, тета-1, тета-2, альфа, бета-1, бета-2), так и для всей изучаемой полосы частот, а также величину среднего уровня когерентности KOG_{cp} . Полученные данные подвергали вторичной статистической обработке по специальной программе. Межполушарную асимметрию оценивали по коэффициенту межполушарной асимметрии, предложенному Болдыревой и Жаворонковой.

Выявлены два вида асимметрии – функциональная (при действии ЭМП на одну и ту же руку реакции гемисфер различны, причем, при действии и на правую, и на левую руку правое полушарие более реактивно) и сенсорная (при действии ЭМП на правую руку характер изменения показателей ЭЭГ оставался таким же, как и при действии на левую, но сама реакция была выражена сильнее).

Изучение реакций АПУД-системы ведет исследовательская группа под руководством проф. Н.А. Те-

мурьянц из Симферопольского университета [107]. Ими было показано, что воздействие ММ-излучения приводит к увеличению защитно-приспособительного потенциала системы крови здоровых людей и интактных животных, что выражается в увеличении цитохимических показателей содержания бактерицидных (пероксидаза, неферментные катионные белки), гидролитических (кислая и щелочная фосфотазы, протеазная активность), энергетических (липиды, сукцинат- и α -глицерофосфатдегидрогеназы) систем в нейтрофилах и лимфоцитах. При этом активация достигается не только повышением цитохимических показателей изученных ферментов, но и гармонизацией физиологических процессов в клетке.

Кроме того, в работах этого коллектива исследователей было также показано, что одним из физиологических механизмов биологического действия ММ-излучения является перестройка временной организации регуляторных систем организма – изменение инфранианной ритмики и перестройка амплитудно-фазовых параметров ряда показателей (цитохимических показателей ферментов в нейтрофилах и лимфоцитах, биофизических параметров БАТ и др.) [107].

Иммунологические реакции на ММ-воздействие начали изучаться еще в конце 80-х годов. Проф. В. И. Говалло с сотрудниками (ЦИТО) было показано, что под влиянием ММ-излучения на лимфоциты и фибробласты человека *in vitro* продуцируется фактор, усиливающий рост и функциональную активность этих клеток – фитокин, возникающий в цитоплазме. Этот фактор связан с активацией дегидрогеназ – в облученных клетках концентрация лактатдегидрогеназы повышается в 3–5 раз. Клинические исследования были проведены проф. Запорожан, Хаит и др., 1991; Пивоваровой с сотр., 1991; проф. Гедымин с сотр., 1995; Островским и Николаевой, 1995; Зайцевой и Донецкой, 1995 и целым рядом других клиницистов при лечении самых различных заболеваний.

При исследовании лимфатических узлов после воздействия ММ-излучения на кожу в них отмечается стимуляция В-клеточной зоны и увеличение популяции лимфоцитов, т.е. стимуляция *гуморального иммунитета* [108]. Л.А. Севастьяновой [72–74, 109] было показано, что интегральный иммунный ответ на действие ММ-волн состоял в активации киллерной функции лимфоцитов лимфатических узлов облученных животных, т.е. активация *клеточного иммунитета*.

После непосредственного параллельного «запуска» вышеназванных систем начинается сложный процесс опосредованного воздействия на другие системы (кроветворную, гуморальную, вегетативную нервную) и внутренние органы. Таким образом, в реакцию на ММ-воздействие вовлекается целый организм. Особенности этой реакции определяются биотропными параметрами ММ-стимула (длиной волны; формой сигнала, т.е. наличием или отсутствием амплитудной и частотной модуляции; локализацией и экспозицией), а также функциональным состоянием человека. Наряду с общим воздействием наблюдается и локальное, местное воздействие – заживление и санация раневых поверхностей, снятие болевого синдрома, зуда, гиперемии и т.п.

На сегодняшний день общее воздействие представляется как реакция повышения неспецифической резистентности организма, что в свою очередь связано с развитием антистрессорных реакций высоких уровней реактивности [9, 110]. Такой подход предполагает рассмотрение биологических (и терапевтических) эффектов низкоинтенсивных ММ-волн в рамках общего адаптационного синдрома.

4. ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН В НЕТРАДИЦИОННЫХ ОБЛАСТЯХ

4.1. Применение низкоинтенсивных миллиметровых волн в медицине

В начале 70-х годов по инициативе академика Н. Д. Десяткова в ряде медицинских учреждений страны с разрешения МЗ СССР и РСФСР была принята программа по клинической апробации – использованию ММ-волн для лечения различных заболеваний. Метод апробирован более чем в 60 клиниках, в том числе в таких крупных медицинских центрах как Всесоюзный онкологический научный центр (ВОНЦ) РАМН, Центральный институт травматологии и ортопедии (ЦИТО) МЗ РФ, в клиниках Государственного медицинского университета, медицинской академии и Московского стоматологического института, в Московском онкологическом институте им. П.А. Герцена и подтвердил высокую эффективность *ММ-терапии* при лечении следующих заболеваний:

сердечно-сосудистых (стабильной и нестабильной стенокардии, гипертонической болезни, инфаркта миокарда);

неврологических (болевого синдрома, невритов, радикулита, остеохондроза);

урологических (пиелонефрита, импотенции, простатита);

гинекологических (аднекситов, эндометритов, эрозии шейки матки);

кожных (нейродермитов, в том числе, псориаза, стрептодермии, угревой сыпи);

гастроэнтерологических (язвы желудка и 12-перстной кишки, гепатитов, холецистопанкреатитов);

стоматологических (пародонтоза, пародонтита, некоторых видов стоматитов, периоститов);

онкологических – для защиты кроветворной системы, устранения побочных явлений при химиотерапии.

Опыт клинического применения этого метода позволяет говорить об отсутствии отдаленных неблагоприятных последствий. *ММ-терапия* хорошо сочетается с другими методами лечения (лекарственными, физиотерапевтическими и др.) и не имеет абсолютных противопоказаний. В отличие от лекарственной терапии *ММ-терапия* не имеет побочных эффектов.

ММ-терапии свойственны следующие особенности: неинвазивность, полилечебный эффект, возможность монотерапии, антистрессорное действие, иммуномодулирующий эффект, противовоспалительное действие.

В настоящее время низконтенсивное ММ-излучение (*ММ-терапия*) нашло самое широкое распространение как для лечения целого спектра заболеваний, так и для профилактики.

Заболевания сердечно-сосудистой системы.

Заболевания сердечно-сосудистой системы являются одной из самых актуальных проблем современной медицины. Одно из ведущих мест в патологии сердечно-сосудистой системы занимает *ишемическая болезнь сердца* (ИБС), что связано с той ролью, которую она играет в структуре смертности населения развитых стран.

Ещё в 1980 году появилось первое сообщение о применении электромагнитных волн ММ-диапазона для лечения сердечно-сосудистых заболеваний. За прошедшие годы накоплен огромный опыт использования миллиметрового излучения для лечения ишемической болезни сердца, гипертонической болезни [111–121]. Была показана связь клинического эффекта ММ-терапии и данных лабораторно-инструментальных исследований, разработаны методики инди-

видуального подбора режимов проведения процедур. Показано, что применение данного метода позволяет существенно снизить количество принимаемых антиангинальных препаратов, а в ряде случаев, например у больных стенокардией напряжения 1–2 функционального классов (ФК), вообще отказаться от приема нитратов. Проведение ММ-терапии у больных стенокардией напряжения 2 ФК приводит к наибольшему снижению как болевой, так и безболевой ишемии миокарда.

У самых тяжелых больных стенокардией напряжения 3–4 ФК и стенокардией покоя и стенозирующим поражением одной или нескольких коронарных артерий, у которых применение больших доз нитратов, бета-адреноблокаторов, антагонистов кальция и дезагрегантов было неэффективно, к моменту окончания курса ММ-терапии положительный клинический эффект различной степени выраженности наблюдался в 80% случаев. Под воздействием ММ-волн у этих больных также снижается количество эпизодов как болевой, так и безболевой ишемии миокарда, что говорит не только о противоболевом, но и о противоишемическом действии КВЧ-излучения.

Нестабильная стенокардия является одной из острых форм ИБС. Данное заболевание, особенно при быстром (в течение нескольких дней) появлении или усилении ангинозных приступов, имеет плохой прогноз и может с большой вероятностью закончиться инфарктом миокарда, внезапной смертью или развитием упорной хронической стенокардии. Оценка клинической эффективности ММ-терапии показала, что даже применение ММ-излучения в виде монотерапии позволяет добиться успеха в 60% случаев. Применение комбинированной медикаментозной и ММ-терапии увеличивает процент хорошего клинического эффекта – в данной группе больных не было случаев отсутствия эффекта от проводимой терапии. Обращает на себя внимание тот факт, что при применении ММ-терапии не было зарегистрировано ни одного случая развития

инфаркта миокарда у больных нестабильной стенокардией, тогда как по литературным данным он развивается в 12–20% случаев. Таким образом, включение ММ-терапии в комплексное лечение нестабильной стенокардии позволяет снизить риск развития инфаркта миокарда.

Более 150 лет основой клинических представлений об ишемии миокарда являлось наличие приступа ангинозной боли. С появлением длительной регистрации ЭКГ внимание клиницистов привлекла *безболевая ишемия миокарда* (БИМ), которая сопровождается снижением насосной функции сердца, нарушениями ритма, повышением риска внезапной смерти в 5–6 раз. Авторами работы [117] в лечебный комплекс больным безболевым ишемией миокарда была включена ММ-терапия: длина волны – 7,1 мм; локализация – область правого плечевого сустава, экспозиция – 30 мин. Положительный клинический эффект разной степени выраженности наблюдался у 93% больных группы А (II ФК) и у 76% – группы Б (III ФК) (по сравнению с 46% и 19% соответственно у больных, не получавших ММ-терапию), при этом в группе А достоверно ($p \leq 0,001$) снизилось количество принимаемого нитроглицерина с $2,6 \pm 0,15$ до $0,2 \pm 0,03$ табл./сутки, а в группе Б с $7,1 \pm 0,36$ до $1,2 \pm 0,14$ табл./сутки. У 80% больных группы А и у 17,6% больных группы Б после курса ММ-терапии отпала необходимость в приеме нитроглицерина.

Количество болевых эпизодов у больных в группах А и Б достоверно уменьшилось соответственно на 81 и 66,7%, общая продолжительность болевой ишемии миокарда достоверно уменьшилась на 78,3% и 65,1%, амплитуда смещения сегмента ST достоверно не изменилась. У 87% пациентов обеих групп после курса ММ-терапии произошла полная нормализация показателей диастолической функции миокарда.

Инфаркт миокарда является наиболее грозной формой ИБС. В остром периоде наибольшую опасность представляют такие осложнения, как нарушения сер-

дечного ритма, развитие острой левожелудочковой недостаточности. Впоследствии наиболее грозными являются развитие хронической недостаточности кровообращения и ранней постинфарктной стенокардии. Применения ММ-терапии в первые часы заболевания на течение инфаркта миокарда и его осложнений показало, что на фоне ММ-терапии уменьшается количество эпизодов острой левожелудочковой недостаточности, впоследствии снижается частота развития постинфарктной стенокардии и хронической недостаточности кровообращения. Кроме того, наблюдается значительный рост индекса Гаркави-Квакиной-Уколовой [9].

Известно, что инфаркт миокарда является сильнейшим стрессом для организма, проявления стресс-реакции усугубляют течение заболевания, замыкая порочный патогенетический круг. Показано, что у больных с реакцией острого стресса выше лейкоциты и длительность болевого синдрома. Среди них больший процент летальности. До начала лечения реакция стресса составляла 55,6%, спокойной активации 21%. После окончания курса процедур реакция стресса составила 11,1%, реакция спокойной активации 50,4%, реакция тренировки 34,2%. У больных с сохранённой реакцией стресса постинфарктная стенокардия развивается достоверно чаще, чем у больных с другими типами реакций.

Кроме того, у больных, получавших ММ-терапию, повышалась степень антиоксидантной защиты – снижалось содержание малонового диальдегида, одного из продуктов перекисного окисления липидов, в то время как традиционная медикаментозная терапия не приводит к снижению этого показателя (рис. 23).

Важнейшим звеном антиоксидантной защиты является фермент супероксиддисмутаза (СОД). По современным представлениям снижение активности СОД более чем на 50% от нормы создаёт условия для неконтролируемого увеличения концентрации супероксидных анион-радикалов, что может привести к необратимым изменениям в клетках и тканях.

На фоне ММ-терапии происходит повышение активности данного фермента, следовательно, увеличивается степень защиты клеток. Эти изменения происходят как в плазме крови, так и в тромбоцитах (рис. 24, 25).

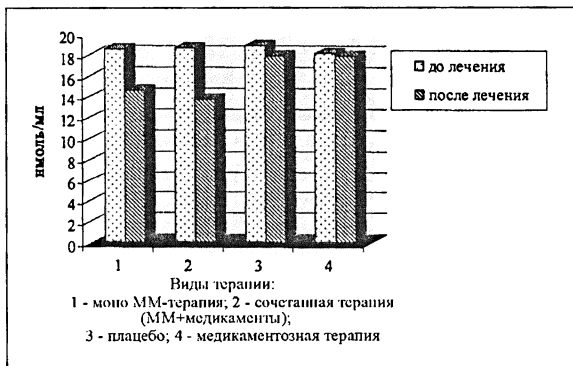


Рис. 23. Содержание малонового диальдегида в плазме крови больных нестабильной стенокардией

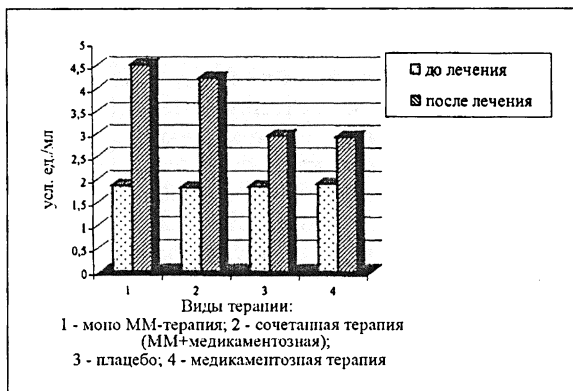


Рис. 24. Активность супероксиддисмутазы в плазме крови у больных нестабильной стенокардией на фоне лечения

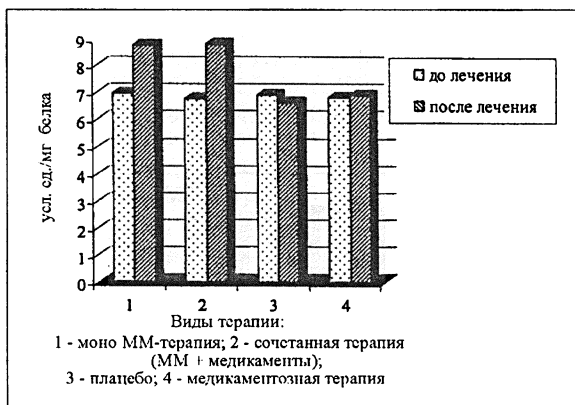


Рис. 25. Активность супероксиддисмутазы в тромбоцитах у больных нестабильной стенокардией на фоне лечения

Отложение иммунных комплексов в стенке артерий может стать первой стадией развития определенных форм атеросклероза. Выделение вазоактивных аминов под влиянием иммунных комплексов увеличивает проницаемость сосудистой стенки, что способствует проникновению иммунных комплексов в ткани, в том числе и в стенку артерий. Кроме того, взаимодействие иммунного комплекса с тромбоцитами резко увеличивает активацию и адгезию последних, что может привести к формированию тромба.

На фоне ММ-терапии отмечено значительное снижение содержания циркулирующих иммунных комплексов в плазме крови больных. Следует отметить, что в контрольных группах достоверного снижения этого показателя выявлено не было, что говорит о том, что традиционная медикаментозная терапия не влияет на этот аспект патогенеза ИБС. Отмечено снижение комплементарной активности сывотки, вероятно за счет уменьшения стимуляции

комплемента иммунными комплексами. Таким образом, ММ-терапия позволяет добиться коррекции иммунологических нарушений у больных ИБС, что может иметь значение не только в лечении данной нозологии, но и, вероятно, воздействовать на процесс атерогенеза в целом.

Расстройства микроциркуляции являются одним из основных звеньев патогенеза сердечно-сосудистых заболеваний. Ухудшение перфузии тканей может наблюдаться не только при атеросклеротическом поражении магистральных сосудов, но и при блокаде системы микроциркуляции за счёт микротромбообразования, снижения деформируемости эритроцитов.

Исследование микроциркуляции в бульбарной конъюнктиве больных ИБС на фоне ММ-терапии показало значительное снижение общего конъюнктивального индекса, индекса сосудистых и внутрисосудистых изменений. Отмечено увеличение калибра артериол, числа функционирующих петель лимба, уменьшения количества эритроцитарных агрегантов в венах. Оценка состояния мозгового кровотока у больных гипертонической болезнью на фоне ММ-терапии методом динамической сцинтиграфии мозгового кровотока с $Tc-99m$ выявила улучшение кровотока в бассейнах поражённых артерий, перераспределение объёма крови в сторону наиболее ишемизированных участков.

В последние годы в практику большинства клинических учреждений внедрены такие методы диагностики сердечно-сосудистых заболеваний как эхокардиография, сцинтиграфия миокарда, все чаще выполняется диагностическая кардиография. В связи с этим повысилась частота диагностики заболеваний сердца некоронарогенного характера: кардиомиопатий, миокардитов и пролапса митрального клапана. По данным статистики распространение данной патологии составляет до 21% популяции, причем чаще всего это пациенты молодого трудоспособного возраста.

та. Кроме того, некоронарогенные заболевания миокарда часто возникают в результате проведения противоопухолевого лечения – постлучевые поражения в связи с применением кардиотоксичных химиопрепаратов. Причем, у данной категории больных именно сердечная патология обуславливает 70–80% летальности на фоне ремиссии основного заболевания.

На базе ИПК ФУ «Медбиоэкстрем», 15 клинической больницы г. Москвы и кафедры госпитальной терапии РГМУ были обследовано и пролечено с использованием ММ-терапии 107 больных с некоронарогенной патологией, а также 103 пациента, получавших по тем или иным поводам кардиотоксичные препараты [122]. Результаты представлены в табл. 3–9.

Таблица 3. Качество жизни и психологический статус пациентов с некоронарогенными заболеваниями

Вид патологии	Шкала Монтгомери-Асберга	Шкала Гамильтона	Шкала Цунга SDS	Госпитальная шкала	Шкала Карновского	Миннесотский опросник
Пролапс митрального клапана, первичный	22,3±0,2	9,87±0,28	0,66±0,01	8,4±0,05	45,7±1,01	17,8±0,02
Гипертрофическая кардиомиопатия	17,2±0,18	8,87±0,24	0,45±0,01	3,4±0,02	44,5±2,0	24,45±1,5
Лучевой миокардит у пациенток с опухолью молочной железы	21,99±0,4	37,77±0,5	0,62±0,01	15,56±0,6	66,66±3,3	32,2±1,75
Лучевой миокардит у пациенток с другими опухолями	22,66±0,9	31,2±0,7	0,60±0,01	15,43±0,2	67,75±2,8	38,8±3,33
Токсический миокардит у пациентов, получавших полихимиотерапию	27,3±0,41	35,24±0,5	0,58±0,01	22,22±0,5	67,4±3,01	47,75±1,5

Продолжение табл. 3

Миокардит у пациентов, получавших сочетанную лучевую и химиотерапию	29,98±1,1	34,74±1,2	0,62±0,01	21,33±1,0	68,02±3,3	46,78±4,4
Пациентки Клиники неврозов (пролапс митрального клапана)	31,7±1,2	39,66±2,3	0,68±0,01	24,4±1,11	34,75±2,8	14,8±1,12

Таблица 4. Клинические проявления сердечно-сосудистой патологии

Вид патологии	Кардиалгии, эпизодов в сутки	Нарушения ритма, эпизодов в сутки	Недостаточность кровообращения, ФК по NYHA
Первичный пролапс митрального клапана	11, 0±0,25	7,1±0,21	1 ФК – 38 2 ФК – 12 3 ФК – 5
Гипертрофическая кардиомиопатия	6,96±0,22	3,43±0,09	1 ФК – 33 2 ФК – 11 3 ФК – 1
Дилатационная кардиомиопатия	3,12±1,75	18,22±4,36	4 ФК – 1 3 ФК – 3
Рестриктивная кардиомиопатия	12,0	4	4 ФК
Аритмогенная дисплазия правого желудочка	0	29,0±5,0	1 ФК – 1 2 ФК – 1
Пациентки с опухолями молочной железы, получавшие лучевую терапию на область средостения	3,44±0,5	2,11±0,5	1 ФК – 20 2 ФК – 4
Пациенты, получавшие лучевую терапию на область средостения	6,05±0,66	3,43±0,33	1 ФК – 12 2 ФК – 5 3 ФК – 1
Пациенты, получавшие полихимиотерапию с кардиотоксическими препаратами	7,78±0,35	3,11±0,33	1 ФК – 28 2 ФК – 3 3 ФК – 2
Прорастание опухоли в миокард	18,0±3,0	5,0±2,0	4 ФК – 2
Сочетание химиотерапии и лучевого воздействия	9,99±1,11	3,33±1,11	1 ФК – 7 2 ФК – 4 3 ФК – 3
Пациентки Клиники неврозов	10,1±1,89	8,75±1,77	1 ФК – 12

Отмечена значительная клиническая динамика проявлений у пролеченных ММ-излучением больных: выраженное снижение количества эпизодов кардиалгий в сутки, улучшение психологического статуса, улучшение самооценки качества жизни (табл. 5). Отмечено облегчение, вплоть до нормализации, степени тяжести и проявлений депрессии (табл. 6). Однако антиаритмического действия ММ-терапии у этих больных выявлено не было.

Таблица 5. Клиническая характеристика группы пациентов, получивших миллиметровую терапию

Пациенты	Кардиалгии, эпизодов в сутки	Нарушения ритма, эпизодов в сутки
Пациенты с первичным пролапсом митрального клапана	9,08 ± 0,3	5,2 ± 0,2
Пациенты с гипертрофической кардиомиопатией	6,48 ± 0,3	3,13 ± 0,2
Пациентки с опухолями молочной железы, получавшие лучевую терапию на область средостения	3,11 ± 1,0	1,01 ± 0,2
Пациенты, получавшие лучевую терапию на область средостения	5,45 ± 0,96	2,57 ± 0,28
Пациенты, получавшие полихимиотерапию с кардиотоксическими препаратами	5,44 ± 1,0	2,97 ± 0,3
Пациенты, получавшие сочетанную химиотерапию с лучевым воздействием	9,02 ± 2,0	4,03 ± 2,5
Пациентки Клиники неврозов	9,11 ± 2,0	7,75 ± 2,0

Таблица 6. Исходное состояние системы гемостаза у пациентов опытной группы

Вид патологии	Агрегация тромбоцитов, %	АЧТВ, с	Вязкость крови, 20 сПз	Фибриноген, г/л	Анти-тромбин III
Первичный пролапс митрального клапана	19,11 ± 0,24	36,66 ± 0,8	5,2 ± 0,33	3,33 ± 0,05	102,02 ± 0,88
Гипертрофическая кардиомиопатия	22,3 ± 0,56	32,7 ± 0,5	5,65 ± 0,03	3,4 ± 0,02	98,7 ± 0,25
Лучевой миокардит у пациенток с опухолью молочной железы	21,7 ± 0,12	31,77 ± 0,13	6,9 ± 0,01	3,7 ± 0,01	82,2 ± 0,23
Лучевой миокардит у пациенток с другими опухолями	22,66 ± 0,25	31,2 ± 0,7	6,6 ± 0,01	3,43 ± 0,03	84,4 ± 0,33

Продолжение табл. 6

Токсический миокардит у пациентов, получавших полихимиотерапию	24,66±0,47	28,14±0,5	6,99±0,01	4,0±0,04	79,5±1,1
Миокардит у пациентов, получавших сочетанную лучевую и химиотерапию	24,08±1,08	28,66±1,21	6,85±0,01	4,1±0,57	79,99±1,21
Пролапс митрального клапана (пациентки Клиники неврозов)	18,8±1,25	36,66±1,25	5,44±0,01	3,23±0,25	97,7±1,25

Очень важными являются результаты коррекции гемореологических расстройств в процессе лечения – отмечена нормализация показателей (табл. 7).

Таблица 7. Динамика клинических проявлений в результате миллиметровой терапии

Вид патологии	Кардиалгии	Недостаточность кровообращения
Пролапс митрального клапана первичный (20)	2,1±0,1*	1 ФК – 7
Гипертрофическая кардиомиопатия (10)	5,56±0,4*	1 ФК – 3
Лучевой миокардит у пациенток с опухолью молочной железы (10)	1,1±0,8*	1 ФК – 2
Лучевой миокардит у пациентов с другими опухолями (8)	2,0±0,8*	1 ФК – 2
Токсический миокардит у пациентов, получавших химиотерапию (10)	1,97±0,1*	1 ФК – 2
Миокардит (кардиомиопатия) у пациентов, получавших сочетанную лучевую и химиотерапию (5)	7,7±1,2*	1 ФК – 2
Пролапс митрального клапана у пациенток Клиники неврозов (5)	2,8±0,4*	–

* $p < 0,05$

Таблица 8. Динамика психологического статуса и качества жизни пациентов после лечения электромагнитным излучением в миллиметровом диапазоне

	Шкала Монтгомери-Асберга	Шкала Гамильтона	Шкала Цунга SDS	Госпитальная шкала	Шкала Карновского	Миннесотский опросник
Пролапс митрального клапана первичный	12,25±0,4*	7,66±0,78*	0,48±0,01*	6,23±0,03*	34,66±1,01*	15,5±1,25*
Гипертрофическая кардиомиопатия	11,2±0,07*	5,78±0,24	0,34±0,001*	3,3±0,02	32,4±2,24	22,30±0,5*

Продолжение табл. 8

Лучевой миокардит у пациенток с опухолью молочной железы	16,75±0,28'	17,16±0,24'	0,42±0,01	9,45±0,05'	45,98±1,05'	28,08±1,00'
Лучевой миокардит у пациенток с другими опухолями	18,33±0,78	16,28±0,47'	0,45±0,01'	11,28±0,02'	44,45±1,55'	28,87±2,01'
Токсический миокардит у пациентов, получавших полыхимиотерапию	27,3±0,41	15,45±0,78'	0,39±0,01	11,27±0,06'	41,11±2,45'	28,88±1,11'
Миокардит у пациентов, получавших сочетанную лучевую и химиотерапию	29,98±1,05	17,44±0,78*	0,44±0,01	11,78±0,78*	43,33±3,3*	27,75±1,2'
Пролапс митрального клапана (пациентки Клиники неврозов)	31,7±1,2	8,75±0,13'	0,39±0,01	6,7±0,8*	21,02±1,10	14,99±1,9

* $p < 0,05$ **Таблица 9.** Динамика реологических свойств крови после терапии электромагнитным излучением в миллиметровом диапазоне

	Агрегация тромбоцитов, %	АЧТВ, с	Вязкость крови, 20 сПз	Фибриноген, г/л	Анти-тромбин III, %
Пролапс митрального клапана первичный	18,02±0,28	36,02±0,78	4,8±0,01'	3,00±0,01	104,12±1,22
Гипертрофическая кардиомиопатия	20,1±0,02'	34,22±0,5'	5,2±0,03'	3,33±0,03	101,01±1,78
Лучевой миокардит у пациенток с опухолью молочной железы	20,7±0,02'	39,09±0,03'	5,8±0,01*	3,2±0,01'	98,88±0,87'
Лучевой миокардит у пациенток с другими опухолями	20,5±0,27*	38,09±0,03'	5,6±0,01'	3,00±0,03'	98,54±0,33'
Токсический миокардит у пациентов, получавших полыхимиотерапию	19,33±0,03*	36,66±0,05'	5,45±0,01'	3,16±0,02'	98,7±1,11'
Миокардит у пациентов, получавших сочетанную лучевую и химиотерапию	20,12±0,77'	36,45±0,98'	5,45±0,01'	3,731±0,01'	100,12±1,77'
Пациентки Клиники неврозов (пролапс митрального клапана)	18,7±1,21	41,07±0,98*	4,99±0,01'	3,21±0,02	97,7±1,25

* $p < 0,05$.

Наиболее значительными были изменения при максимально выраженных нарушениях в системе гемостаза, что подтверждает гипотезу о модулирующем влиянии ММ-излучения.

Среди пациентов, не получавших ММ-терапию, не отмечено существенных изменений качества жизни, психологического статуса, а в связи с ухудшением состояния системы гемостаза им потребовалось назначение антикоагулянтов и дезагрегантов.

Таким образом, в данной работе было получено подтверждение выявленным ранее свойствам ММ-терапии: нормализации гемореологических расстройств, коррекции симпато-адреналового обмена как важнейшим патогенетическим механизмам воздействия ММ-излучения на организм в целом, на сердечно-сосудистую систему и миокард в частности.

Онкологические заболевания.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) второе место после сердечно-сосудистых занимает смертность населения от онкологических заболеваний.

Клиническая апробация применения низкоинтенсивного ММ-излучения и разработка методик проводились под руководством проф. С. Д. Плетёва с 1980 года в отделении физических методов диагностики и лечения опухолей в Московском Научно-исследовательском онкологическом институте им. П.А. Герцена [123]. Объектом исследования были выбраны больные, страдающие *раком молочной железы*. Во-первых, это заболевание широко распространено. Во-вторых, при лечении этой патологии часто используются лекарственные противоопухолевые препараты и лучевая терапия, что вызывает определенные изменения в жизнедеятельности организма. Изучались ответные реакции у больных раком молочной железы IIб и IIIб стадий, получавших химиотерапию, а так же у больных, подвергавшихся лучевой терапии. Изучение структурно-функционального состояния клеток крови

проводилось до начала лечения, после трех сеансов ММ-воздействия, в середине курса лечения и после его окончания. Общее состояние организма оценивалось по субъективным данным, симптоматике, адаптационным реакциям. Тип таких реакций определялся по процентному содержанию лимфоцитов в лейкоцитарной формуле и их соотношению с сегментоядерными нейтрофилами.

Химиотерапевтические препараты вводились до начала хирургического вмешательства по схеме в суммарной дозе: фторурацил – 3 г, циклофосфан – 2,8 г, метотрексат – 60 мг.

Перед началом лекарственной противоопухолевой терапии проводился трехдневный курс ММ-воздействия (ежедневно по 60 минут). В процессе проведения химиотерапии облучение проводилось за час до введения противоопухолевого препарата. После завершения курса химиотерапии воздействие ММ-излучения продолжалось в течение трех дней. Курс ММ-терапии состоял обычно из 14–15 процедур. По данной методике было пролечено 343 больных. Контрольную группу составило 339 больных, получавших химиотерапию по той же схеме. У больных, получавших лекарственную противоопухолевую терапию в комбинации с ММ-излучением, курс лечения был завершен в полном объеме у 95,1% больных при удовлетворительном общем состоянии без применения средств, стимулирующих кровообращение. Без ММ-терапии курс лечения завершен у 74,2% больных со значительными клиническими отклонениями в общем состоянии и снижением количества лейкоцитов в крови, несмотря на переливание крови и применение стимулирующих препаратов. При проведении последующих (адьювантных) курсов химиотерапии эта закономерность сохранялась. Адьювантная химиотерапия в первый год лечения проводилась каждые три месяца (не более трех курсов), во второй год – два курса с интервалом 5 месяцев.

Была изучена способность ММ-излучения восстанавливать количество лейкоцитов до условной нормы у больных с лейкопенией. Было проведено лечение 900 больных с исходным количеством лейкоцитов в крови менее 3000 (2300–2700). Курс лечения составлял 12 дней. Процедуры проводились ежедневно. После проведенного курса лечения количество лейкоцитов в крови нормализовалось у 80% пациентов, что позволило провести им полноценный курс химиотерапии.

В процессе применения ММ-терапии у больных, получавших противоопухолевые препараты, исследовали костный мозг. На основании полученных данных видно, что сначала при применении этой терапии происходит выброс резервной крови из кровяных депо, что вызывает не только увеличение объема крови в общем кровотоке, но и улучшает кислородный обмен. Возможно, это является одной из причин улучшения переносимости противоопухолевых препаратов и снижения побочных токсических явлений. На 4-5 сутки воздействия ММ-излучения повышалась пролиферативная активность костного мозга.

Таким образом, проанализировав клинический материал, можно уверенно сказать, что применение ММ-излучения позволяет провести полный курс химиотерапевтического лечения больным онкологическими заболеваниями без существенного снижения показателей крови, дополнительного применения кровостимулирующих средств.

Среди всех опухолевых образований кожи наиболее злокачественной является *меланома*. Она бурно метастазирует лимфогенным и гематогенным путем. В последние годы наблюдается рост этого заболевания, что связано с ухудшением экологической обстановки. Наиболее распространенным методом лечения всех форм меланомы является хирургический. При появлении метастазов болезнь считается неизлечимой. Пятилетняя выживаемость остается очень низкой. По данным отечественных и зарубежных авто-

ров она составляет при первой клинической стадии 75%, при второй – 32%, при третьей – 0%. Метастазирование меланомы кожи среди первично леченных больных в сроки от 6 месяцев до полутора лет имеет место в 20–25% случаев. При диссеминации процесса используется химиотерапия, однако, меланома кожи остается заболеванием, устойчивым к противоопухолевым препаратам. Проведение адыювантных курсов химиотерапии после хирургического вмешательства не отдалает сроки развития метастазов и рецидивов опухоли.

Клинический опыт применения ММ-излучения для предупреждения развития рецидивов и метастазов у больных первичной меланомой кожи после хирургического лечения свидетельствует о перспективности его применения при данной нозологии. Первый курс лечения, состоявший из 10 процедур продолжительностью 60 мин ежедневно, проводился сразу после оперативного вмешательства, второй через месяц после первого, третий через 3 месяца после второго, четвертый через шесть месяцев после третьего курса. При динамическом наблюдении в сроки от 9 месяцев до полутора лет признаков рецидивирования и метастазирования не отмечено ни у одного больного.

Представляется, что в данном случае речь идет о стимуляции иммунной системы и, следовательно, усилению естественной противораковой защиты организма.

Кроме того, в Московском Научно-исследовательском онкологическом институте им. П.А. Герцена исследовали влияние ММ-излучения на течение раневых процессов у 1302 больных как с ушитыми, так и с открытыми (после лазерной хирургии) ранами (651 в основной группе и 651 в контрольной) [124]. Контроль за течением раневого процесса проводился по выраженности воспалительных реакций, некроза, срокам появления грануляций и их характеру, эпителизации и срокам заживления. Курс лечения состоял из 15 процедур продолжительностью 60 мин, прово-

димых ежедневно. При открытых, поверхностно расположенных ранах рупор аппарата устанавливался на кожу в 2–2,5 см от раны; при операциях на брюшной полости и грудной клетке – на грудину. При оценке результатов выявлено, что ММ-излучение оказывает благоприятное влияние на течение процессов в ране. Больные отмечали уменьшение болей, дискомфорта в ране. В первую фазу течения раневого процесса, когда наиболее выражена альтерация тканей, эффект выражался в уменьшении интенсивности некроза, перифокального воспаления. В случаях, когда преобладали сосудистые реакции (отек, гиперемия), исчезновение этих признаков наступало на 3–5 сутки, тогда как в контроле этот процесс длится не менее 8 суток. Противовоспалительный эффект ММ-излучения более выражен у больных с ушитыми ранами. У этих больных ни разу не отмечалось прорезывания швов, в то время как в контрольной группе такие осложнения наблюдались в 9% случаев. Вероятным механизмом такого эффекта можно допустить восстановление микроциркуляторного русла, эффективного звена рецепторов и, тем самым, нормализацию ауторегуляции заживления раны. Характерно, что при заживлении раны в условиях ММ-воздействия рубцы не бывают грубыми, не отмечается келоидизации. Это обстоятельство позволяет обеспечить хороший эффект на коже лица.

При заживлении открытых ран наблюдалось более раннее созревание грануляций (в среднем на 3–5 сутки). При этом грануляционная ткань развивалась на всем протяжении раневой поверхности, в отличие от нелазерных ран, где характерно развитие грануляций островками. Развитие грануляционной ткани на всем протяжении раны способствует ускорению закрытия ее зрелой грануляционной тканью на 5–7 дней раньше, чем в контрольной группе. Ни в одном случае не наблюдался избыточный рост грануляций. Эпителизация раны начиналась быстрее, чем в кон-

троле, равномерно с краев, что приводило к концентрическому стягиванию краев раны и образованию полноценного кожного регенерата. Рост эпителия за сутки составлял 2–3 мм. В итоге под воздействием ММ-излучения наступало заживление раны оптимальным путем, что приводило к сокращению сроков заживления на 3–5 дней.

К настоящему времени ММ-терапия в онкологии используется для лечения рака желудка, молочной железы, яичников, тела и шейки матки, пищевода, толстого кишечника, ЛОР-органов и др. в качестве гемопротекторного и гемостимулирующего фактора при проведении лучевой и химиотерапии. В послеоперационный период ММ-излучение позволяет купировать эрозивно-язвенные поражения слизистых оболочек различных органов, а также обострение сопутствующих хронических заболеваний; снизить послеоперационные осложнения, выраженность болевого синдрома. Кроме того, на стадии альтерации под воздействием ММ-волн наблюдается снижение некролиза, перифокальных реакций, исчезновение отека и гиперемии, а на стадии регенерации грануляционная ткань никогда не выходила за пределы раны, эпителизация начиналась быстрее, не возникало келоидизации рубца [125–127].

Самый последний обзор по применению ММ-терапии, представленный М.В. Теппоне и Р.С. Авакяном, можно прочитать в [128].

Травматология и ортопедия.

Начало клинического изучения метода ММ-терапии в травматологии и ортопедии было положено в ЦИТО им. Н.Н. Приорова, где он применяется с 1987 года. За это время с помощью указанного метода пролечены тысячи больных с различными патологическими состояниями костно-мышечной системы, включая тяжелые последствия огнестрельных повреждений конечностей, особенно часто встречающиеся в последнее годы на территории Российской федера-

ции. В 1987–1990 гг. метод апробирован в экстремальных условиях при наиболее тяжелых видах боевой патологии опорно-двигательного аппарата и получил положительную оценку в Центральном военном госпитале Министерства Обороны республики Афганистан (с которым ЦИТО им. Н.Н. Приорова поддерживал в течение этого срока прямые научные связи), у пострадавших, находившихся в ЦИТО после землетрясения в Армении и других стихийных бедствий и различных катастроф [129–133].

Проведенные в ЦИТО цитологические исследования дают основание считать, что в основе лечебного действия ММ-волн лежит эффект усиления пролиферативного потенциала обработанных ММ-излучением клеток. Под влиянием ММ-волн в цитоплазме клеток активируется синтез цитокинов, оказывающих на клетки этой линии действие, подобное фактору роста. Эти вещества накапливаются в цитоплазме клеток, но они могут секретироваться в среду, а потому действовать и контактно, и дистантно. По всей видимости, стимулирующее влияние ММ-волн на рост клеток не ограничивается только кожными фибробластами и лимфоцитами крови, а носит универсальный характер и проявляется в отношении клеток самых разных тканевых структур.

В лечении больных ортопедо-травматологического профиля ММ-волнам отводится роль инструмента для воздействия на систему регуляции роста клеток и цитодифференцирования с целью стимуляции репаративных процессов в очаге поражения. ММ-терапия выступает как биологическая составляющая комплексной терапии, направленной на восстановление функциональных возможностей поврежденных или вовлеченных в патологический процесс тканевых структур костно-мышечной системы.

В течение последнего десятилетия ММ-терапия окончательно утвердилась в качестве одного из самых эффективных методов консервативного лечения

больных ортопедо-травматологического и хирургического профиля. Опыт применения метода в ЦИТО дает основание утверждать, что включение ММ-волн в комплексное лечение больных, у которых на первый план в клинической картине заболевания выступают нарушения трофики и жизнеспособности тканей (а именно эти расстройства характерны для последствий огнестрельной травмы), способно обеспечить новое качество лечебного процесса, устраняющее ранее имевшиеся трудности в медицинской реабилитации таких больных. Этот факт подтверждается анализом применения КВЧ-терапии при самых различных патологических состояниях костно-мышечной системы, сопровождающихся нарушениями тканевой трофики и угнетением репаративных процессов в очаге поражения.

Результаты лечения больных с нейродистрофическими нарушениями тканевой трофики, которые возникли после огнестрельных повреждений конечностей и клинически проявились в виде постоянного прогрессирования гнойно-некротических процессов в ампуционной культе, свидетельствуют о том, что на фоне применения ММ-терапии при подготовке больных к кожной пластике сократилась продолжительность фаз раневого процесса: экссудации – с 14 (без ММ-терапии) до 10 дней; регенерации – с 10 до 7 дней в среднем.

Нормализующее влияние ММ-терапии на процесс заживления ран нашло подтверждение в динамике изменения адаптационных реакций организма. В этой группе до лечения ММ-волнами у абсолютного большинства наблюдавшихся больных (91,8%) отмечена наиболее неблагоприятная в прогностическом отношении реакция стресса. Под влиянием ММ-терапии произошла смена типов адаптационных реакций за счет резкого уменьшения числа больных с реакцией стресса (13,5%) при одновременном увеличении числа больных с повышенной (59,5%) и спокойной (24,3%) активацией. Эти данные свидетельствуют о способности ММ-волн эффективно воздейст-

водить на нейродистрофический процесс, за счет чего достигается улучшение трофики и жизнеспособности тканей в очаге поражения.

Применение ММ-терапии позволило также получить высокую эффективность при лечении хронического остеомиелита (огнестрельного и травматического), пролежней, уменьшение микробной обсемененности ран, ускорение срачивания переломов костей.

Результаты проведенных исследований дают основание рассматривать ММ-терапию как один из методов активационной терапии и из этого исходить при установлении показаний к применению метода у больных с различной патологией костно-мышечной системы. Особенно эффективно ММ-воздействие у больных с неблагоприятной динамикой течения раневого процесса и резким угнетением репаративных процессов, при отсутствии лекарственных и других необходимых для лечения средств. Это дает основания рекомендовать ММ-терапию в качестве альтернативного метода медикаментозной терапии и в этом качестве применять указанный способ лечения в экстремальных ситуациях, т.е. в условиях массового поступления пострадавших, нехватки кровезаменителей и ограниченного применения дорогостоящих лекарственных препаратов.

Легочные заболевания.

Профилактика и лечение *туберкулеза* являются одной из самых важных проблем современной медицины. В последние годы наблюдается значительный рост этого заболевания, появление форм, устойчивых к противотуберкулезным препаратам. Во второй половине 80-х годов в Центральном НИИ туберкулеза РАМН началось интенсивное изучение воздействия электромагнитных волн КВЧ-диапазона на клиническое течение заболеваний органов дыхания.

Мобилизация иммунной системы при туберкулезе, которая осуществляется под влиянием КВЧ-излучения, наиболее важна для борьбы организма с инфекцион-

ным агентом – микобактерией туберкулеза (МБТ). Были проведены экспериментальные и клинические исследования, позволяющие судить об эффективности и безопасности данного метода лечения, в результате которых были сделаны следующие выводы:

Применение КВЧ-излучения в комплексной терапии больных с различными формами туберкулеза позволило добиться более быстрого рассасывания инфильтративных изменений и сокращения сроков закрытия полостей распада в легких.

По данным экспериментальных исследований обнаружено, что КВЧ-излучение вызывало значительную пролиферацию лимфоцитов и макрофагов в органах иммуногенеза с массивной инфильтрацией ими пораженных органов, в том числе и легких.

Гистологическими и цитологическими исследованиями установлено, что после КВЧ-терапии возрастала функциональная активность фагоцитирующих клеток (альвеолярных макрофагов), обеспечивающих быстрое освобождение организма от МБТ.

Под влиянием сочетанной с КВЧ-волнами противотуберкулезной терапии укорачивались сроки рассасывания туберкулезных очагов в легких, печени и селезенке у экспериментальных животных.

Клинико-экспериментальное исследование показало, что КВЧ-излучение обладает протекторным свойством по отношению к токсическому действию химиопрепаратов, необходимых для лечения туберкулезных больных и является тем новым средством, которое устраняет побочные реакции противотуберкулезных препаратов, способствует успешному проведению адекватной терапии.

В клиниках ЦНИИ туберкулеза РАМН больным с различными формами туберкулеза легких к основному курсу химиотерапии 3-4-мя противотуберкулезными препаратами (изониазид, рифампицин, пиразинамид, канамицин) на разных этапах лечения был присоединен курс ММ-терапии.

Экспериментальные и клинические исследования показали, что ММ-волны низкой интенсивности оказывали нормализующее действие на многие клинические параметры: форменные элементы крови, соотношение плазменных белков крови, стимулировали пролиферацию лимфоцитов в органах иммуногенеза, а макрофаги в костном мозге, которые затем интенсивно заселяли органы, пораженные туберкулезом (главным образом, легкие), нормализовали функцию внешнего дыхания и регионарный кровоток в легких, способствовали восстановлению гомеостаза при хроническом инфекционном заболевании, каким является туберкулез [134].

ММ-терапия использовалась также в комплексном лечении *саркаидоза* легких и внутригрудных лимфатических узлов. После курса лечения (20 процедур) у 81 % больных рентгенологически отмечалось выраженное рассасывание паренхиматозно-интерстициальной инфильтрации, теней гранулем, уменьшение симптомов альвеолита, интерстициального отека, реакции плевральных оболочек. До 0,5 первоначального размера уменьшались внутригрудные лимфатические узлы, наблюдалась значительная активация фагоцитарной функции макрофагов как в зоне гранулематозного поражения, так и в отдаленных участках легких, и в крови, т.е. стимуляция функциональной активности иммунокомпетентных клеток была универсальной. Очень важным моментом при ММ-терапии является снижение дозы кортикостероидных препаратов до 10-15 мг через день или даже полной их отмены у половины больных впервые выявленным саркоидозом.

Гастроэнтерология.

Язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки относится к наиболее распространенным заболеваниям пищеварительной системы. Язвенной болезнью страдает 7-10% взрослого населения развитых стран мира. В последние годы наметилась тенденция к

увеличению случаев первичной регистрации язвенной болезни, особенно в молодом возрасте.

Широко применяемая в настоящее время комплексная медикаментозная терапия, направленная на различные патогенетические механизмы заболевания, существенно не улучшила результаты лечения: сроки заживления хронических язв остаются продолжительными, результаты терапии нестойки, а у 30–40% больных терапия оказывается безуспешной. После одновременного употребления 1–3 лекарственных форм может наступить побочный эффект у 18% больных, а при одновременном приеме 5–6 лекарственных препаратов побочные эффекты возможны у 81% больных, поскольку многие лекарственные препараты обладают различными побочными токсическими действиями, способны вызвать аллергизацию организма.

Принцип применения ММ-излучения для лечения язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки и профилактики рецидива заболевания основан на способности ММ-терапии повышать защитные, компенсаторные механизмы организма, что позволяет ему противостоять агрессивным внешним и внутренним факторам.

Результаты лечения язвенной болезни методом ММ-терапии (более 10 000 больных – основная группа) оценивались в сравнении с группой больных, лечение которым проводили традиционным комплексом лекарственных препаратов с включением антацидов, спазмолитиков, ингибиторов секреции, репарантов (контрольная группа).

Полное заживление язв в основной и контрольной группах наступило у 98,6% и 82% соответственно при сроках заживления: в основной группе $21,1 \pm 1,4$ дня, в контрольной группе $37,5 \pm 1,9$ дня, причем язвы двенадцатиперстной кишки в обеих группах заживали быстрее, чем язвы желудка (язва двенадцатипер-

стной кишки: основная $17,6 \pm 1,2$ дня; контрольная $35,8 \pm 2,0$ дня; язва желудка: основная $28,1 \pm 2,1$ дня; контрольная $45,1 \pm 5,3$ дня).

Отдаленные результаты при динамическом эндоскопическом наблюдении за больными после ММ-терапии (с эндоскопическим контролем через 3–4 мес.) свидетельствуют, что на протяжении одного года рецидив в основной группе обнаружен у 51% больных, а в контрольной группе – у 82% обследованных больных. Использование ММ-терапии позволило повысить уровень антиоксидантной активности, нормализовать реологические свойства крови (уменьшаются вязкость крови, показатель гематокрита, индекс деформируемости и, что особенно характерно, у больных с ускоренной агрегацией эритроцитов наблюдается замедление скорости агрегации и, наоборот, у больных с замедленной агрегацией – ее ускорение), нормализовать нарушенный фагоцитоз [135, 136].

Эффективность ММ-терапии при лечении данного заболевания связана, главным образом, со способностью электромагнитного излучения восстанавливать нарушенную антиоксидантную активность клеток, положительно влиять на реологические свойства крови, нормализуя кровообращение в желудке и двенадцатиперстной кишке, и активизировать процессы репарации в организме.

Применение ММ-терапии в фазе «биохимического предъязвенного состояния» является эффективным методом профилактики рецидива язвенной болезни, направленным на повышение защитных, компенсаторных механизмов организма.

ММ-волны при лечении язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки применяются с 1977 г. уже доказана их способность стимулировать защитные силы организма, нормализовать иммунологический статус, реологические свойства крови, активизировать процессы репаративной регенерации

на уровне клетки, повышать антиоксидантный статус организма [137]. Однако эти работы касались в основном неосложненных язв.

В работе [137] представлены результаты лечения пациентов с *осложненными гастродуоденальными язвами*, протекающими на фоне вторичного иммунодефицита и стадийного течения ДВС-синдрома. Для ММ-терапии использовалась длина волны 4,9 мм, с мощностью до 5 мВт/см² в импульсном режиме (1 мин – излучение, 1 мин - пауза) и экспозицией 15 мин; курс составлял от 5 до 15 процедур ежедневно; локализация – зона Захарьина-Гедда в эпигастральной области с гастродуоденальной зоной.

Включение ММ-излучения в лечебный комплекс при язвенных кровотечениях сглаживало проявления гиперкоагуляции в постгеморрагическом периоде. К концу курса лечения снижалась прокоагулянтная активность крови, содержание коррелята внутрисосудистого свертывания крови уменьшалось в 3 раза, нормализовались фибринолитическая активность и тромбоцитарный гемостаз. В свою очередь, нормализация функционального состояния системы гемостаза способствовала ускорению заживления язвенного дефекта.

При перфорациях и пенетрациях гастродуоденальных язв использование ММ-излучения предотвращало фазовое развитие дефицита плазменных факторов свертывания и также способствовало нормализации фибринолитической активности и тромбоцитарного гемостаза. Снижение выраженности ДВС-синдрома коррелировало с сокращением катаболического периода после оперативного вмешательства.

Анализ отдаленных результатов выявил пролонгированный эффект курсового применения ММ-волн при осложненном течении язвенной болезни. Больные, получавшие ММ-терапию, в последующий год обращались в лечебные учреждения по поводу обост-

рения заболевания в 7 раз меньше, чем пациенты без курса ММ-терапии; кроме того, у больных, леченных ММ-волнами, в течение 1 года не было зафиксировано ни одного случая рецидива кровотечения или перфорации.

Кроме язвенной болезни, ММ-терапия показала высокую эффективность при лечении *острого деструктивного панкреатита* [138].

Раннее включение (с 2–3 суток) ММ-терапии в лечебный комплекс при остром деструктивном панкреатите приводит к укорочению срока лечения в реанимационном отделении и быстрой положительной динамике показателя по шкале SARS, что говорит о способности ММ-волн влиять на системную воспалительную реакцию, закономерно снижая ее. Уменьшение частоты инфицированных форм панкреонекроза на фоне ММ-терапии и, соответственно, числа операций, приходящихся на одного прооперированного больного, является следствием не только прямого иммуномодулирующего действия, но и опосредованного – через нейрогормональные соотношения и состояние системы гемостаза. Раннее включение в программу ММ-терапии снижает общую летальность и длительность госпитализации выживших больных. Так, у пациентов, получавших ММ-терапию:

- длительность пребывания в реанимационном отделении составила $4,2 \pm 1,8$ дней ($8,3 \pm 2,3$ – без ММ-воздействия);
- число операций на одного прооперированного больного – $1,1 \pm 0,1$ ($2,5 \pm 0,2$ – без ММ);
- тяжесть состояния по SARS на 10 сутки – $2,3 \pm 0,2$ балла ($8,8 \pm 0,92$ – без ММ);
- частота инфицированных форм – 18,8% (42% – без ММ);
- общая летальность – 10% (24% – без ММ);
- длительность госпитализации – $19,6 \pm 3,7$ дней ($36,7 \pm 4,2$ – без ММ).

Стоматология

Известно, что болезни пародонта в настоящее время для стоматологов являются весьма актуальной проблемой, т.к. их распространенность составляет 25–40% в возрасте до 35 лет и 80–90% – после 40 лет. Важным патогенетическим звеном этих заболеваний является нарушение кровотока в микрососудах тканей пародонта. Обычно основным методом лечения болезней пародонта является хирургический, который влечет за собой проблему послеоперационной реабилитации, т.к. послеоперационная медикаментозная терапия затруднена в связи со значительной аллергизацией населения.

Исследования последних лет показали, что коррекцию нарушений системы гемостаза можно проводить с помощью ММ-терапии. В [139] представлены результаты клинического исследования эффективности применения ММ-терапии у больных с хроническим генерализованным пародонтитом. Применение в комплексном лечении ММ-излучения позволило восстановить реологические свойства крови и способность эритроцитов к агрегации, быстрее купировать болевой синдром после хирургического лечения, ускорить сроки эпителизации послеоперационной раны.

К сожалению, в рамках данной работы невозможно рассказать обо всех возможностях применения ММ-терапии. В настоящее время клинически достоверно подтверждена высокая эффективность этого метода для лечения более чем 120 нозологических форм, и этот список продолжает пополняться. Видимо, ММ-терапия – это один из тех методов, о которых мечтали еще врачи в глубокой древности, когда «лечится не конкретная болезнь, а организм человека».

4.2. Миллиметровые волны в сельском хозяйстве

Результаты экспериментальных исследований, продемонстрировавшие влияние низкоинтенсивных

ММ-волн на процессы метаболизма в живых объектах, вызвали интерес у специалистов, занимающихся сельским хозяйством – растениеводством и животноводством. Этот интерес в значительной степени связан с тем, что ММ-воздействие является экологически чистым фактором, а это имеет большое значение для сельскохозяйственного производства. В отличие от химических методов обработки, ММ-излучение, поглощаясь в обрабатываемом растении, оказывает непосредственное влияние на процессы жизнедеятельности растения, но при этом не происходит внесения в растительный объект или в окружающую среду каких-либо экологически вредных веществ. Кроме того, в сельском хозяйстве практически всегда остро стоит вопрос о повышении продуктивности – урожайности, надоев, повышения биомассы.

Проведенные еще в 1989 г. исследования [90, 140] показали, что под влиянием низкоинтенсивных ММ-волн происходит активирование АТФ растительной клетки, т.е. стимуляция ферментативной активности. Опираясь на этот экспериментальный факт, специалисты провели ММ-обработку семенного материала для повышения всхожести семян, ускорения развития рассады и повышения продуктивности сельскохозяйственных растений [141]. В условиях теплиц исследования показали, что практически для любой культуры могут быть подобраны режимы ММ-облучения, приводящие к положительным физиологическим эффектам. Так авторами было зафиксировано:

- повышение всхожести семян салата на 13%, огурцов на 14%, укропа на 35%, томатов на 38% по сравнению с контролем;
- повышение начальной скорости роста всходов из обработанных семян томатов на 35% по сравнению с контролем;
- повышение веса зеленой массы салата, выращенного из обработанных семян, на 36-41% по сравнению с контролем;

- повышение веса зеленой массы укропа, выращенного из обработанных семян, на 43% по сравнению с контролем.

При этом растения, выращенные из обработанных семян, не несли в себе признаков морфологических отклонений от нормы.

При 30-минутном облучении ММ-волнами (7,1 мм) семян кукурузы (сорт «Одесская-10») и семян огурцов (сорт «Конкурент») энергия прорастания семян обеих культур была на 50–120 % выше, чем в контроле [142]. Облученные семена быстрее набухали, что связано с повышением проницаемости мембран клеток оболочки семени для воды через изменение биофизических характеристик плазмалеммы; повышалась удельная активность синтезирующегося в алейроновом слое зерновок кукурузы фермента амилазы. Результаты наблюдения за дальнейшим ростом проростков в вегетационном и полевом опытах свидетельствовали о положительном влиянии ММ-волн на процессы жизнедеятельности активно вегетирующих растений – увеличилась их высота, сырая и сухая масса, площадь листовой поверхности. При этом морфологических отклонений от нормы у опытных растений по сравнению с контролем не наблюдалось.

Положительное влияние облучения на формирование генеративных органов у кукурузы и огурцов проявлялось по-разному: при одинаковом количестве початков у кукурузы в опытной группе они были крупнее и зерновок в них было в среднем в 1,5 раза больше, чем в контроле ($p \leq 0,05$); а у опытных растений огурцов наблюдалось появление большего числа завязей при 100%-ном завязывании плодов, которые по массе и размеру существенно не отличались от контрольных.

Проращивание облученных ММ-волнами (61,5 ГГц, 100 мкВт/см², 20 мин) семян ячменя в условиях повышенной температуры (28°) повышало синхронность первых митозов на 36% по сравнению с необлученным контролем, что, по-видимому, обусловлено сти-

муляцией молекулярно-генетических процессов, лежащих в основе клеточной пролиферации. Повышение синхронности клеточных делений проростков при температуре $+20^{\circ}$ сопряжено с увеличенной урожайностью вегетирующих растений [143].

На опытной станции Всероссийского института растениеводства были проведены исследования влияния КВЧ-излучения на урожайность нескольких партий облученных семян льна, гречихи и огурцов, которые были посеяны в парники [144]. Показано, что облученные семена имели увеличенную энергию прорастания, меньшее время роста, они начинали раньше цвести и давали больше оплодотворенных завязей. Урожайность облученных растений увеличилась на 15-20%. Растения, выросшие из облученных семян редиса в закрытом грунте, имели увеличенный диаметр и массу плодов по сравнению с контрольными, а урожайность облученных растений возросла на 20%.

Урожайность облученных семян гречихи выросла в полевых условиях на 50%, причем эти результаты повторялись в течение 3-х лет.

В последние годы низкоинтенсивные ММ-волны все шире применяются в *животноводстве и ветеринарии*.

Обычно используемые методы лечения воспаления молочной железы (мастит) у коров (ежегодно этим заболеванием страдает до 25% животных) основаны на введении животному антибиотиков, сульфаниламидов, нитрофуранов и их комбинаций, остаточные количества которых попадают в молоко, нарушают технологические процессы в молочной промышленности, не позволяют получить экологически чистые продукты питания. Второй проблемой на молочных фермах является довольно частое послеродовое заболевание – эндометрит (воспаление слизистой оболочки матки), для лечения которого также существует большое количество лекарственных средств. При этом во время лечения и спустя 2-8 суток молоко от этих животных нельзя употреблять в пищу. Лечение этих заболеваний без медикаментов

или уменьшение их количества, а также ускорение процесса выздоровления является важной проблемой ветеринарии.

Во ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии РАН совместно с ГНПП «Исток» [145] были разработаны методики лечения мастита и эндометрита с использованием ММ-излучения и создан специальный прибор «Кентавр» (7,1 мм, 1 мВт/см², площадь облучаемой поверхности 20 см²). При лечении неосложненных гнойной инфекцией форм мастита после 10 сеансов было вылечено 70% животных, а у 30% наблюдалось выраженное улучшение состояния, и лечение было продолжено. При осложненных гнойной инфекцией формах мастита применялось сочетанное с однократным введением противомаститного препарата лечение. После 10 сеансов вылечено 60% животных, у 40% наблюдалось улучшение, и лечение было продолжено.

Лечение эндометрита проводилось без применения лекарственных препаратов, т.е. применялась моно КВЧ-терапия. После 5-10 сеансов положительный эффект наблюдался у 85% животных. КВЧ-терапия оказалась эффективной и для профилактики эндометрита. Воздействие начинали сразу после отделения последа. Количество сеансов – 5. У этих животных быстрее проходила инволюция матки, ни одно из них не заболело эндометритом.

В 1991 г в Ленинграде, а также в Москве в конно-спортивном комплексе «Битца» [146] впервые ММ-терапия начала применяться для лечения спортивных лошадей.

В настоящее время в Санкт-Петербурге апробацию в ветеринарной практике прошли методики лечения ММ-излучением следующих заболеваний и травматических повреждений лошадей [147]:

- резано-рваные раны, резаные раны, скальпирующие раны;

- гнойный пододермит;
- фиброзный тенденит;
- глубокий абсцесс после вскрытия;
- хронический синовит путовых суставов;
- острое серозное воспаление скакательных суставов;
- гнойный бурсит;
- гнойный дерматит;
- гастрит;
- бронхит.

При лечении обширных ран и гнойно-воспалительных заболеваний использовался сочетанный метод ММ-терапии и лекарственной терапии.

Кроме приведенных выше показаний, ММ-излучение применялось для предотвращения послекастрационных осложнений. По сравнению с традиционными методами после облучения не происходило развития отеков и обильного кровотечения, значительно сократились сроки реабилитации.

При воздействии на практически здоровых животных происходит коррекция эмоционального статуса, ускорение восстановления после повышенных нагрузок, снятие нервных напряжений, временная стимуляция иммунитета. Последнее обстоятельство успешно используется в предэпидемические периоды для профилактики гриппа.

Апробация ММ-терапии в ветеринарной практике лечения лошадей подтверждает высокую эффективность лечения, отсутствие побочных отрицательных эффектов и хорошую переносимость процедуры лошадьми различного возраста.

На базе Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова проведено исследование эффективности применения ММ-излучения (на частоте излучения атмосферного кислорода – 56,4–65,6 ГГц) для лечения бронхопневмонии у телят [148].

Известно, что за последние 10 лет респираторная патология появляется у 30-40% телят. Применяемые средства химиотерапии и химиопрофилактики бронхопневмонии имеют недостаточную эффективность и в то же время высокую токсичность. На фоне применения ММ-терапии у телят происходит восстановление структурно-функциональной активности органов и тканей иммунной системы, восстановление кислотно-основных соединений, повышение уровня активности АСАТ и щелочной фосфатазы. Терапевтическая эффективность ММ-терапии при лечении больных бронхопневмонией телят достигает 84–88%, а профилактическая составляет не менее 96% (традиционными способами лечения – 55–58%).

В Саратовском государственном аграрном университете им. Н.И. Вавилова и свиноводческом комплексе ГУП «Большевик» в Пензенской области проведена работа по лечению больных субклиническим маститом свиноматок с использованием ММ-излучения (61,22 ГГц, 7 мВт/см², 10 сеансов по 5 мин) [149]. Было обнаружено, что при применении ММ-терапии на пораженную субклиническим маститом молочную железу возрастает содержание эритроцитов (на 14,79%) и гемоглобина (на 29,66%). Исследование величины гематокрита показало, что после облучения объем плазмы снижается на 11,6%, при этом насыщенность эритроцитов гемоглобином увеличивается на 18,8%, а осмотическая устойчивость эритроцитов возрастает в 1,2 раза по сравнению с данными до облучения.

В результате ММ-терапии значительно снижается общее количество лейкоцитов в крови больных свиноматок – после воздействия на 24,5%. Изменение общего количества лейкоцитов сказывается и на процентном отношении отдельных их форм. До воздействия отмечался регенеративный сдвиг нейтрофилов, увеличение количества лимфоцитов и незначительно эози-

нофилов, что говорит об активизации клеточных механизмов защиты. В результате применения ММ-терапии увеличивается содержание эозинофилов, лимфоцитов, сегментоядерных нейтрофилов при уменьшении доли юных и палочкоядерных нейтрофильных форм. Существенных изменений в содержании моноцитов и базофилов не установлено. Эти данные говорят об *угасании воспалительного процесса* в молочной железе и нормализации функционального состояния всего организма.

В результате ММ-терапии отмечается также повышение бактерицидной и фагоцитарной активности (на 28,95% и 17,45% соответственно) и уменьшение лизоцимной (в 1,1) и комплементарной (в 1,26 раза) активности сыворотки крови.

При применении моно КВЧ-терапии был достигнут наилучший терапевтический эффект (89,66%), в результате произошло восстановление функций 92,59% пакетов молочных желез. Не менее высокий терапевтический эффект дало сочетанное применение КВЧ-терапии и короткой новокаиновой блокады с бициллином-3 – 89,29%, однако, при данном методе лечения нормализация функции наблюдалась у 88,46% молочных пакетов. Низкая терапевтическая эффективность была отмечена при проведении антибиотикотерапии (79,0%) и короткой новокаиновой блокады (47,62%).

Таким образом, авторы [149] считают, что КВЧ-терапия является эффективным и экологически безопасным методом лечения субклинического мастита свиноматок, простым и дешевым для применения в промышленном свиноводстве.

Исследование влияния электромагнитного излучения ММ-диапазона на спермопродукцию баранов-производителей представлено в работе [150]. Семи-дневный курс КВЧ-облучения (61,22 ГГц; 7 мВт/см²; прерывистый режим – 5 мин воздействие, 5 мин пауза; экспозиция – 15 мин; локализация – область се-

менников) способствовал увеличению объема эякулятов на 15,4%; резистентность сперматозоидов к 1% раствору хлористого натрия увеличилась на 12,5 %, одновременно улучшилась и живучесть спермиев в фосфатном буфере при температуре 38°C на 18,2%.

Применение КВЧ-терапии способствовало увеличению ферментативной активности семени. В эякулятах улучшаются биохимические показатели семени: обесцвечивание метиленовой сини ускорялось на 12%; восстановление трифенилтетразолиевого хлорида под действием дегидрогеназы происходило быстрее в 1,2–1,3 раза; цитохромоксидазная активность повышалась в 1,3 раза; кислотность семени уменьшалась на 0,25–0,37 единицы РН.

Кроме лечения сельскохозяйственных животных, КВЧ-терапия в последние годы широко применяется для лечения мелких животных. В ветеринарных поликлиниках успешно проводится лечение отита у собак и кошек; воспалительных явлений в суставах, растяжений связок и других травматических повреждений.

В работе [151] представлены результаты сравнительного исследования эффективности лечения гиповолемии у беременных собак с тяжелыми формами гестозов при сочетанном лечении, включавшем КВЧ-терапию и 6% раствор оксиэтилированного крахмала (haes-steril), и при общепринятой терапии (реополиглюкин, альбумин, глюкозо-новокаиновая смесь). В первой группе после лечения (61,22 ГГц; 7 мВт/см²; прерывистый режим – 5 мин воздействие, 5 мин пауза; экспозиция – 15 мин; локализация – область нижней брюшной стенки вдоль белой линии живота) наблюдалось достоверное ($p \leq 0,05$) снижение артериального давления со $119 \pm 0,2$ до $103 \pm 0,11$ мм рт.ст. (по сравнению с $110 \pm 0,03$ в контрольной группе). Диурез увеличивался в обеих группах, однако, в группе с КВЧ-терапией он увеличился по отношению к исходной величине на $41,7 \pm 4,9\%$, а в контрольной – на $18,9 \pm 3,5\%$ ($p \leq 0,001$).

Протеинурия в первой группе снизилась с $2,72 \pm 0,2$ до $0,21 \pm 0,1$ г/л или полностью исчезла, а в контрольной группе – лишь до $0,71 \pm 0,12$ г/л ($p \leq 0,01$).

У беременных собак до начала комплексной терапии было выявлено нарушение маточно-плацентарного кровотока. После проведенной терапии в первой группе установлено достоверное улучшение кровообращения в маточных артериях и в артерии пуповины в результате снижения периферического сопротивления и уменьшения диастолической скорости кровотока в ответ на улучшение перфузии плаценты.

Таким образом, при тяжелых формах гестозов на фоне сочетанной терапии (КВЧ-терапия + haes-steril) в плаценте наблюдались изменения, свидетельствовавшие о компенсаторно-приспособительных реакциях, направленных на снижение гипоксии. Сочетанная терапия дает стойкий клинический эффект в результате ликвидации гиповолемии, корректирующего действия на гемореологические показатели и улучшает микроциркуляцию системы «мать–плацента–плод».

Этими же исследователями проводилось изучение динамики гормональных параметров в течение индуцированной беременности у собак и их коррекция ММ-излучением [152]. В результате лечения индивидуально подобранными дозами дексаметазона и экспозицией КВЧ-излучения ($61,22$ ГГц; 7 мВт/см²; прерывистый режим – 5 мин воздействие, 5 мин пауза; экспозиция – 15 мин; локализация – область нижней брюшной стенки вдоль белой линии живота; курс – $5-7$ сеансов) экскреция 17 -кетастероидов снижалась до нормативных показателей ($20-41$ мкмоль/л). При традиционных методах лечения концентрация экстрадиола достоверно ниже ($p \leq 0,05$) по сравнению с показателями сочетанного применения лекарственных средств и КВЧ-терапии. При сочетанной терапии концентрации экстрадиола, прогестерона и кортизо-

ла находятся на нижней границе нормы, что обеспечивает нормальную беременность и снимает угрозу выкидышей и преждевременных родов.

4.3. Применение ММ-волн в биотехнологии

Эта область практического применения ММ-волн является достаточно новой, хотя и имеет богатую предысторию. Как известно, под биотехнологией обычно понимают «производство с помощью живых существ, или технологию живого» [153]. В настоящее время биотехнология относится к одному из трёх наиболее перспективных научных направлений, которые определяют развитие мировой экономики в XXI веке (к их числу относятся ещё нанотехнология и электроника).

Истоки биотехнологии лежат в глубокой древности, когда человек стал возделывать растения, приручать животных и, позднее, научился варить пиво из ячменя [153]. Именно пиво представляет большой интерес с точки зрения зарождения биотехнологии, так как пиво можно приготовить, если только используется биотехнологический процесс с применением микроорганизмов, переводящих сахар в спирт.

Пример интересной биотехнологической системы демонстрируют процессы, происходящие на рисовом поле: рисовому кустику помогает расти водяной папоротник, а накопление белка происходит с помощью сине-зелёных водорослей (цианобактерий), которые усваивают азот непосредственно из воздуха. Ещё один интересный пример биотехнологического процесса связан с производством шёлка: шелковая нить – это и есть паутина, вытягиваемая гусеницей тутового шелкопряда. Человек издревле научился для выпечки хлеба готовить дрожжевое тесто, этот процесс происходит с участием микроорганизмов – дрожжей. Столь же давно человек столкнулся с проблемой ски-

сания вина, пока не стало понятным, что виновником этого досадного биотехнологического процесса являются винные микроорганизмы (винные дрожжи, перерабатывающие спирт в уксусную кислоту), с которым легко можно справиться с помощью хорошо известного процесса – пастеризации.

Как видно из приведенных выше примеров, в основе биотехнологических процессов лежит использование биохимической активности микроорганизмов.

Из живых существ микроорганизмы являются основным объектом биотехнологии. Главная проблема здесь состоит в разработке эффективных технологий производства продуктов микробного синтеза для нужд промышленности, сельского хозяйства, медицины. При этом важно достигать увеличения выхода биологически активных соединений, интенсификации продуцирующей активности микроорганизмов, получения биологически активных комплексов с заданными свойствами. Наибольший интерес с точки зрения биотехнологии представляют ценные микроорганизмы, такие как дрожжи, грибы, актиномицеты, сине-зелёные (цианобактерии), а также некоторые зелёные микроводоросли.

Современные производства, которые используют микроорганизмы, выпускают продукты как микробиологического, так и немикробиологического происхождения. Продукты, получаемые по первой схеме, являются результатом микробного синтеза (белки, ингредиенты вакцин, антибиотики и другие медицинские препараты, аминокислоты, ферменты, витамины, инсектициды и т.д.). По второй схеме в процесс приготовления конечного продукта вовлекаются микробиологические стадии (это упомянутые выше технологии виноделия, хлебопечения и др.).

Большая и разнообразная коллекция микроорганизмов представляет собой своеобразный банк генов, банк природного генофонда, и от умения его использования зависит будущее

Новый этап в развитии биотехнологии процессов связан с открытием наследственного материала и возникновением генной инженерии. Когда учёные научились проводить «операции» на носителях наследственной информации – генах, открылись новые перспективы в области биотехнологических процессов. Появление возможности выделения нужных генов и введения их в клетку привело к истокам современной биотехнологии, то есть технологии получения в промышленном масштабе совершенно новых материалов, прежде всего в интересах медицины, пищевых производств и т. д. Речь идёт, в частности, о создании эффективных антибиотиков, интерферона, интерлейкина, человеческого инсулина, а также опухолекротезирующих материалов (с помощью которых можно лечить онкозаболевания), наконец – новых и эффективных лекарственных препаратов для лечения СПИДа, рассеянного склероза, болезни Альцгеймера и т. д.

Есть все основания считать, что большие перспективы открываются также при применении электромагнитных полей и волн в различных биотехнологических процессах. Говоря об электромагнитной биотехнологии, мы будем иметь в виду производство с помощью «живых существ...» и электромагнитных волн или полей.

Уже в первых работах в этом направлении было показано, что под действием ММ-волн изменяется характер жизнедеятельности микроорганизмов: они влияют на клеточное деление, синтез ферментов, изменение скорости роста и выхода биомассы, могут привести к морфологическим изменениям и изменению биологических свойств микроорганизмов [154–159]. Таким образом, под действием ММ-волн могут изменяться параметры жизнедеятельности микроорганизмов, регуляция физиологической активности, происходит мобилизация резервных возможностей. На-

пример, воздействуя на суспензию в воде спорового гриба аспергилла, можно повысить его *фибринолитическую активность* в 2,5–3 раза; воздействуя на дрожжеподобный гриб эндомикописис, используемый в качестве продуцента амилалитических ферментов, можно добиться увеличения амилалитической активности культуры на 50 %. Воздействие на патогенные микроорганизмы приводит к изменению чувствительности к антибиотикам штаммов стафилококка различного происхождения, а также к изменению иммунобиологической активности полученных из них антигенных субстанций. Интересно отметить, что в ряде приведенных выше примеров характер изменения биосинтетических свойств микроорганизмов зависит от биотропных параметров ММ-излучения (частоты, мощности и др.), причём иногда в зависимости от параметров излучения отмечалось изменение знака эффекта (например, в процессах «активация ↔ ингибирование»).

Первая солидная попытка использования ММ-волн в биотехнологических процессах была предпринята в пивоваренной промышленности. Рассмотрим подробнее особенности биотехнологического процесса (пивоварения) с применением пивных дрожжей [160, 161]. Работа выполнялась как в лабораторных, так и производственных условиях на Московском экспериментальном пивоваренном заводе, ВНИИ безалкогольной промышленности и продуктов брожения совместно с биофаком МГУ им. М.В. Ломоносова и НПО «Исток» (в настоящее время – ФГУП «НПО «Исток», г. Фрязино) в конце семидесятых – начале восьмидесятых годов прошлого века. Целью проведенных исследований было изучение возможности использования низкоинтенсивных ММ-волн для воздействия на клетки дрожжей с целью интенсификации процесса пивоварения и улучшения качества получаемого продукта. В качестве объекта исследования использова-

лись промышленно ценные пивоваренные дрожжи *Saccharom carlsb.*, штамм S-Львовская. Облученные и контрольные культуры дрожжей засеивались в 11%-ное охмеленное сусло и выращивались при температуре 28°C. Анализировались следующие технико-химические показатели процесса [161]: бродильная активность дрожжей (способность сбраживать углеводы сусла – мальтозу, сахарозу, глюкозу и фруктозу); длительность брожения; флокуляция - способность дрожжей собираться во время брожения, особенно, после брожения в мелкие комки (от этого свойства зависит степень сбраживания и осветления пива вследствие оседания дрожжей); образование диацетила и альдегидов в процессе сбраживания пивного сусла, которые ухудшают вкус и аромат; наличие в дрожжевых клетках гликогена, значительно повышающего их питательную ценность.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях, свидетельствуют о том, что облучение инокулята ММ-волнами приводит к интенсификации производственного процесса, улучшению вкусовых качеств и питательности пива при облучении на длине волны $\lambda = 6,036$ мм при частотной модуляции на промышленной частоте: при этом сокращается длительность брожения, увеличивается флокуляционная способность, снижается количество диацетила и альдегидов, увеличивается содержание гликогенов, то есть повышаются питательные свойства пива. Экспериментально было обнаружено ещё два важных свойства ММ-волн: ослабление действия факторов, отрицательно влияющих на функции клеток, а также восстановление репрессированных различными способами биосинтетической активности дрожжевых культур [161, 162].

Обычно пивоваренные дрожжи, идущие для сбраживания сусла, используются многократно, то есть применяются для нескольких циклов брожения (послед-

довательных генераций дрожжей, причём производственная генерация включает более 100 циклов размножения дрожжей). В экспериментах было обнаружено ещё одно очень важное свойство ММ-волн: оказалось, что возможно многократное использование однажды облучённых дрожжей при сохранении высокой бродильной активности и сокращении длительности брожения (это было проверено на 6 последовательных генерациях дрожжей), то есть имеет место эффект пролонгации. Проверка в производственных условиях (три проверки или примерно 70 циклов брожения) показала, что основные свойства ММ-волн, обнаруженные в лабораторных условиях, сохраняются.

К сожалению, эти важные для промышленности исследования по использованию ММ-волн в технологических процессах пивоварения были прерваны, когда в нашей стране в середине восьмидесятых годов началась ошибочная антиалкогольная кампания, а после её провала работы не возобновились уже в силу ряда объективных и субъективных обстоятельств.

Обратимся ещё к одному примеру использования ММ-волн в биотехнологии, имеющему большое как научное, так и практическое значение. Речь идёт о новых перспективах применения ММ-волн в фото-биотехнологии [63, 65, 162–166].

В настоящее время микроводоросли (фотосинтезирующие организмы) являются одним из важных объектов биотехнологии (фотобиотехнологии) и можно предположить, что они станут одним из основных объектов промышленного фотосинтеза (эта идея была высказана в своё время К.А. Тимирязевым). Фотосинтезирующие организмы в своей жизнедеятельности обходятся очень дешёвыми естественными источниками энергии, поэтому они имеют большие преимущества перед традиционными в современной биотехнологии объектами – гетеротрофными микроорганизмами, использующими для своего

питания готовые органические вещества (некоторые бактерии, грибы и др.).

Наибольшую ценность в практическом отношении представляют сине-зелёная водоросль спирулина – *Spirulina platensis* – продуцент ценного пищевого и кормового белка и биологически активных соединений, а также промышленно важная морская одноклеточная водоросль *Platymonas viridis*, имеющие большие биотехнологические возможности. Так, например, сейчас в аптеках и в различных магазинах можно найти медикаменты и различные изделия с добавлением спирулины (лекарственный препарат «Сплат», продукты питания, кремы, шампуни и т.д.). Среди всех известных растений и микроорганизмов спирулина имеет высокое содержание в биомассе белка около 60-70% сухого вещества, что почти в два раза превышает содержание белка в сое, а также богатый аминокислотный состав, в котором представлены все незаменимые аминокислоты. Кроме того, спирулина может использоваться для получения (естественным путём) биологически активных соединений, рециклизации отходов, очистки сточных вод и т. д. Микроводоросль *Platymonas viridis* также является богатым источником пищевого и кормового белка и содержит много высокомолекулярных жирных кислот.

Многочисленные эксперименты, проведенные на биофаке МГУ совместно с ИРЭ РАН на протяжении последних 15 лет, показали, что низкоинтенсивные ММ-волны по отношению к микроводорослям обладают большими стимулирующими свойствами: в частности, обнаружен эффект существенной интенсификации фотосинтетических процессов, сохраняющийся при последующих пассажах. Например, в экспериментах со спирулиной (*Spirulina platensis*) при оптимальном подборе биотропных параметров ММ-излучения увеличение выхода биомассы по сравнению с контролем достигало порядка 250%. Тогда как

при обычных (химических) методах стимуляции приращение биомассы составляет 25-30%. Максимуму продуктивности соответствовали и максимумы реакционной способности культуральной среды (окислительной способности), которая является интегральным показателем физиологического состояния культуры. Важно, что прирост биомассы сопровождается экскрецией в культуральную среду биологически активных соединений – белков, витаминов, незаменимых аминокислот.

Для зелёной микроводоросли *Platymonas viridis* наибольший прирост биомассы при оптимальных условиях облучения составлял примерно 170%. Как и в случае спироулины, прирост биомассы сопровождался увеличением реакционной способности культуральной среды.

Интересная модификация электромагнитных полей, используемых в биотехнологических экспериментах с микроводорослями, обсуждается в [165]. Применялось комбинированное электромагнитное излучение – непрерывное излучение низкоинтенсивных ММ-волн совместно с мощным импульсным излучением в сантиметровом диапазоне. Импульсное излучение имело следующие параметры: длительность импульса – 10 нс, длина волны $\lambda = 3$ см, плотность мощности на облучаемой поверхности – 200 кВт/см², временной интервал между импульсами составлял примерно 6 минут. Хотя пиковая мощность и была достаточно большой и сравнимой с естественной напряжённостью электрического поля на биологических мембранах, но при столь коротких длительностях импульсов энергия в импульсе была очень малой. Следовательно, оба вида излучения оказывают только не-тепловое воздействие и являются низкоэнергетическими. Получен стимулирующий эффект при воздействии на микроводоросль *Spirulina platensis*, существенно превышающий эффект, имеющий место при

воздействии только непрерывного ММ-излучения или только импульсного излучения.

Эксперименты с дрожжевыми клетками и микрородорослями проводились достаточно длительное время и очень тщательно. Значительно меньше информации имеется в литературе об экспериментах с другими объектами. В работе [92] приводятся результаты экспериментов с семенами разных с/х культур. Эти эксперименты проводились на базе ВСХА им. Тимирязева К.А. (г. Москва) совместно с ИРЭ РАН. Обнаружен стимулирующий эффект при воздействии ММ-волн на семена салата (по сравнению с контролем всхожесть увеличилась на 38%, биомасса – на 36 – 41%), томатов (всхожесть – на 38%) , укропа (всхожесть – на 35%, биомасса – на 43%). К сожалению, эти эксперименты были непродолжительными и были прекращены по объективным обстоятельствам. В литературе имеется ряд работ по использованию в микробиологии сантиметровых волн, примыкающих на шкале электромагнитных волн в ММ-волнам со стороны коротких волн. Однако в большинстве таких работ использовались большие (тепловые) уровни мощности и эти волны применялись для подавления роста микроорганизмов (вплоть до их гибели) или для стерилизации различных объектов. Подробную информацию на эту тему можно найти, например, в [63]. Однако можно высказать, может быть, и субъективное мнение о том, что сантиметровые волны не представляют в силу разных причин практического интереса для биотехнологии.

Приведенный в настоящей работе экспериментальный материал даёт достаточное основания для вывода о том, что низкоинтенсивные электромагнитные волны ММ-диапазона представляют практический интерес для использования в биотехнологических процессах в микробиологической промышленности (прежде всего в альгологической промышленности), не-

смотря на то, что в подавляющем большинстве работы и не были доведены до апробации в производственных условиях. К сожалению, многие пионерские работы, поставленные по этому направлению 15–20 лет тому назад, не получили своего развития.

Краткий обзор работ по традиционным методам биотехнологии даёт основание сделать оптимистический вывод о том, что для электромагнитной биотехнологии имеется обширное поле деятельности. Накопленный к настоящему мнению богатый экспериментальный материал по использованию ММ-волн в различных биотехнологических процессах с применением микроорганизмов может и должен быть востребован.

4.4. Коррекция с помощью низкоинтенсивных ММ-волн изменений биоэлектрической активности мозга человека, вызванной электромагнитным полем мобильного телефона

Развитие цивилизации породило появление множества антропогенных факторов, в том числе, искусственных ЭМП (в основном в диапазоне промышленных и радиочастот), которые вносят свой вклад в ухудшение экологической обстановки. Организмы самых различных видов - от одноклеточных до человека – обнаруживают чрезвычайно высокую чувствительность к ЭМП [1, 80, 82, 107, 167-169]. Современные исследования свидетельствуют о том, что биологические эффекты ЭМП определяются как его биотропными параметрами – интенсивностью, частотой, формой сигнала, локализацией, экспозицией и пр. [80, 169-171 и др.] , так и физическими свойствами биологического объекта как среды, в которой распространяется электромагнитная волна – диэлектрической проницаемостью, электрической проводи-

мостью, исходным функциональным состоянием, возрастом, полом и т.д.

Искусственные (антропогенные) ЭМП создают электромагнитное загрязнение окружающей среды, и большую лепту в этот процесс вносят стремительно распространяющиеся сети мобильных телефонов. Как было показано в ряде работ, ЭМП мобильных телефонов оказывают заметное влияние на организм человека. В последние несколько лет эта проблема обсуждается учеными различных специальностей, в частности на ежегодных международных конференциях и симпозиумах, проводимых Bioelectromagnetic Society (BEMS) и European Bioelectromagnetic Association (EBA). Проведенные ранее исследования выявили влияние ЭМП сотовых телефонов на биоэлектрическую активность мозга бодрствующего человека, а также нарушение структуры сна [172,173].

В связи с этим было предпринято исследование возможности коррекции изменений биоэлектрических потенциалов мозга человека, вызванных влиянием электромагнитного поля мобильного телефона, с помощью низкоинтенсивного КВЧ-излучения [174]. В Институте радиотехники и электроники и ЗАО «МТА-КВЧ» был разработан микроминиатюрный КВЧ-генератор, который встраивается в трубку мобильного телефона (Патент РФ N 2169434 от 28.12.98).

В экспериментах приняли участие 54 добровольца обоего пола в возрасте от 17 до 60 лет. В контрольную группу (без встроенного КВЧ-генератора) вошли 29 человек, в экспериментальную группу (с КВЧ-генератором в трубке телефона) – 25 человек. До начала пользования телефонами (аппараты одной и той же фирмы, GSM-стандарт) у всех испытуемых были проведены фоновые замеры ЭЭГ. Затем замеры проводили через 3, 6 и 9 недель после начала пользования сотовыми телефонами. ЭЭГ записывали по 19 стандартным отведениям (система ЕС-10 – 20%) в окци-

питательных, париетальных, центральных, фронтальных и темпоральных областях коры больших полушарий мозга (индифферентные электроды располагались на мочках ушей) с помощью портативного энцефалографа NeuroVisor 24U (NPO "BIOSS", г. Зеленоград), соединенного с Note-book.

ЭЭГ-записи анализировали методами нелинейной динамики (вычисление глобальной корреляционной размерности D2) и спектрального анализа. Вторичную статистику осуществляли с помощью стандартных программ (Statistica 6).

При анализе ЭЭГ-данных контрольной группы по показателю D2 испытуемые разделились на две подгруппы: в первой – спустя 3 недели пользования телефоном D2 *увеличился* на 15%, спустя 6 недель – на 18 %, спустя 9 недель – на 13% по отношению к фону (различия достоверны с $p < 0,05$); во второй – спустя 3 недели пользования телефоном D2 *уменьшился* на 16%, спустя 6 недель – увеличился на 3 %, спустя 9 недель – увеличился на 5% по отношению к фону (различия достоверны с $p < 0,05$). Спектральный анализ фоновых ЭЭГ-записей показал, что испытуемые первой подгруппы имели в спектре ЭЭГ выраженный пик в *альфа*-диапазоне (альфоидная ЭЭГ), а испытуемые второй подгруппы имели *диффузную* ЭЭГ (без выраженного альфа-пика).

Через 3, 6 и 9 недель пользования сотовым телефоном наибольшие изменения в спектре ЭЭГ первой подгруппы касались *дельта*- и *альфа*-ритма (главным образом, выраженное увеличение их амплитуды в различных отведениях), а также *бета*-ритма (заметное снижение амплитуды). Что касается второй подгруппы, то достоверных изменений ритмики ЭЭГ выявлено не было.

При анализе ЭЭГ-данных экспериментальной группы по показателю D2 разделения на подгруппы не наблюдалось, а динамика состояла в следующем: D2 *увеличился* на 11%, спустя 6 недель – на всего 2%,

а спустя 9 недель показатель D2 возвращался к фоновым значениям, при этом различия были не достоверны ($p > 0,05$). Спектральный анализ ЭЭГ-записей так же не выявил достоверных изменений.

Паттерн ЭЭГ, сформировавшийся у испытуемых первой подгруппы *контрольной* группы после 3, 6, 9 недель, свидетельствует о следующих изменениях функционального состояния мозга:

- о снижении оптимального уровня активации центральной нервной системы, снижении тонуса (депрессия *бета*-ритма в окципитальных, парietальных, центральных и фронтальных областях коры больших полушарий мозга);
- об увеличении ингибирующего эффекта ствола мозга (динамика дельта- и бета- ритмов);
- появление знаков возбуждения в мезэнцефальных и, особенно, в базальных фронтально-темпоральных структурах (усиление *альфа*-ритма во фронтальных и центральных областях);
- рассогласование в работе таламо-кортикальных структур (изменение региональных различий распределения основных ЭЭГ-ритмов).

Все выше описанные изменения свидетельствуют о нарушении нейродинамики, снижении тонуса коры головного мозга.

Испытуемые второй подгруппы *контрольной* группы имели слабо выраженные диффузные перестройки в ЭЭГ, которые говорят об умеренных изменениях в диэнцефальных структурах ствола мозга. Такой паттерн связан со снижением компенсаторного потенциала мозга, т.е. со снижением адаптационных способностей и уровня реагирования на действие внешних факторов.

Отсутствие достоверных различий спектрального состава ЭЭГ в фоновых замерах и в процессе использования сотового телефона у испытуемых *экспериментальной* группы, казалось бы, может свидетель-

ствовать о снижении адаптационных способностей мозга. Однако сформировавшийся ЭЭГ-паттерн свидетельствует о высоком компенсаторном потенциале мозга у субъектов этой группы.

Таким образом, результаты экспериментов демонстрируют выраженный эффект влияния электромагнитного поля мобильного телефона на функциональное состояние мозга. При этом можно говорить о двух процессах, развивающихся в центральной нервной системе: один из них – адаптационный, другой – стойкий процесс функционирования мозга. Адаптационный процесс манифестирует тенденцию возвращения измененных параметров к фону, а второй процесс – изменения работы мозга, достаточно стойкие и сохраняющиеся в течение всего времени воздействия. Наблюдаются знаки раздражения таких структур мозга, которые отвечают за висцеральные, жизненно важные функции организма - сон и его нарушения, ритм сердца и его нарушения, терморегуляция, а также нарушение памяти и эмоциональных реакций организма.

Наличие ММ-генератора в трубке компенсирует возникающие негативные эффекты от воздействия ЭМП мобильного телефона. Отсутствие снижения адаптационных возможностей мозга и его реактивности у испытуемых экспериментальной группы свидетельствует о протекторном эффекте ММ-волн.

5. АППАРАТУРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН В НЕТРАДИЦИОННЫХ ОБЛАСТЯХ

5.1. Терапевтическая аппаратура

В медицине применяются электромагнитные излучения различных диапазонов волн: от постоянных магнитных и электрических полей до коротких радиоволн, т.е. вся шкала электромагнитных волн (см. табл. 1) [175]. Рассмотрим кратко основные особенности применения ММ-волн в нетрадиционных областях.

В разработке различных аспектов этой области приняли участие ведущие медицинские и научно-технические организации страны, высококвалифицированные специалисты в области медицины, физиологии, биологии, радиофизики и других специальностей. На эту тему опубликовано несколько тысяч статей, десятки сборников и книг, проведено более 20-ти крупных конференций и совещаний. Хотя многое в механизме этого удивительного по своей эффективности способа воздействия на человеческий организм до сих пор остается не до конца ясным, не вызывает сомнений перспективность и полезность этого направления в современной научной и практической медицине. В этом убеждает опыт тысяч врачей, использующих методы и аппаратуру КВЧ-терапии для успешного лечения десятков различных нозологий, сотни тысяч больных, забывших о своих недугах после успешного лечения методами КВЧ-терапии.

Основные биотропные параметры миллиметрового излучения, положенные в основу разработки терапевтических приборов

Первые экспериментальные установки для изучения биологических эффектов миллиметровых волн,

а также терапевтические приборы строились на основе вакуумных ЛОВ-0. На подобных установках были получены первые фундаментальные данные о параметрах ММ-излучения, при которых надежно фиксируются отклики живых организмов на воздействие этих волн. Анализ большого массива подобных экспериментальных зависимостей, полученных в опытах с различными микроорганизмами и лабораторными животными, позволил выбрать ряд основных биотропных параметров волн, которые могли быть использованы в качестве исходных данных для разработки терапевтической аппаратуры в ММ-диапазоне длин волн [176]. При этом исследователи всегда придерживались классической схемы внедрения в практику здравоохранения новой медицинской техники: опыты с микроорганизмами — эксперименты с животными — клиническая апробация.

1. Выбор рабочих частот f_p .

Первоначально были выбраны две биологически значимые частоты колебаний, на которых статистически достоверно были зафиксированы наиболее четкие и хорошо воспроизводимые биологические эффекты:

$$f_{p1}=53530\pm 10 \text{ МГц } (\lambda_{p1}=5,6 \text{ мм});$$

$$f_{p2}=42190\pm 10 \text{ МГц } (\lambda_{p2}=7,1 \text{ мм}).$$

Впоследствии требования к точности воспроизведения этих частот были ослаблены, так как было признано более целесообразным использовать модуляцию несущей частоты со значением девиации, приблизительно соответствующей ширине резонансных пиков (обычно 1...0,1% от среднего значения несущей частоты).

2. Девиация частоты при частотной модуляции, f_d .

Окончательное значение девиации для обеих частот f_{p1} и f_{p2} , равное $\Delta f_d \approx \pm 100 \text{ МГц}$, было определено экспериментально.

В качестве частоты модуляции была выбрана вторая гармоника частоты электрической сети, $F_m=100 \text{ Гц}$.

3. Плотность мощности облучения P_{Π} .

Диапазон изменения плотности мощности в области «плато» на зависимости «биологический эффект — плотность мощности излучения» составляет примерно 0,01...10 мВт/см². Исходя из методических соображений, для выходной мощности терапевтических аппаратов была выбрана верхняя граница плотности мощности. При этом учитывалось то обстоятельство, что в электромагнитобиологии и гигиенических стандартах границей раздела между тепловым и нетепловым эффектом электромагнитной волны, падающей на тело человека, определена величина 10 мВт/см² при общем облучении оператора в течение полного рабочего дня.

4. Продолжительность одного сеанса терапии, t_c .

Из опыта медицинского применения ММ-излучения была определена средняя продолжительность сеанса при ММ-терапии. Она составляет $t_c = 15...20$ мин (и только при лечении онкологических заболеваний $t_c \sim 60$ мин). Поэтому таймер в терапевтических аппаратах рассчитывается примерно на 1 ч и обычно предусматривается изменение t_c с шагом 5 мин. При разработке технического задания на терапевтические аппараты учитывались также стандартные требования, предъявляемые к медицинской аппаратуре: абсолютная безопасность в работе, надежность, удобство использования (эргономичность), возможность контроля (и коррекции) основных выходных параметров, а также малые масса-габаритные параметры. Принимался также во внимание тот факт, что к концу семидесятых, началу восьмидесятых годов у нас в стране была надежно освоена технология производства экономичных полупроводниковых генераторов на лавинно-пролетных диодах (ЛПД) и диодах Ганна (ДГ). Эти диоды в сравнении с ЛОВ-О хотя и обеспечивали меньший диапазон электронной перестройки частоты, но выгодно отличались от ЛОВ-О малыми значениями массы и габаритов, а также низкими значениями питающих напряжений.

Для первых терапевтических ММ-аппаратов были выбраны в качестве активных элементов ЛПД. Основные соображения были следующие: физические процессы (эффекты), лежащие в основе работы ЛПД были впервые обнаружены и исследованы в России (г. Фрязино, НИИ «Исток»), здесь же была построена теория работы этих генераторов, а также разработана и освоена впервые в мире технология серийного производства этих приборов.

Разработка базового аппарата для ММ-терапии «Явь-1»

Впервые вопрос о необходимости разработки специального аппарата в ММ-диапазоне длин волн для лечебного применения был поставлен перед МЗ СССР Н.Д. Девятковым и М.Б. Голантом в 1982 г. Комитет по новой медицинской технике МЗ СССР согласился с целесообразностью постановки такой работы (выписка из Протокола №3 от 15.06.1982 г.) и назначил медицинских соисполнителей: Всесоюзный Онкологический Научный Центр АМН СССР, Московский научно-исследовательский Онкологический институт им. П. Герцена, 1-й Московский медицинский институт и Одесский медицинский институт.

Разработка аппарата была осуществлена в НИИ «Исток» (впоследствии — НПО, ГНПП, ФГУП, г. Фрязино). Разработка базовых аппаратов проходила в два этапа. На первом этапе была постановлена научно-исследовательская работа. Ее цель состояла в разработке опытных экземпляров терапевтического аппарата («Явь») [177, 178]. На втором этапе в рамках опытно-конструкторской работы была поставлена цель разработать аппарат для серийного выпуска («Явь-1») на опытном заводе НИИ «Исток» — заводе «Рений».

Научно-исследовательская работа «Создание малогабаритной установки для широкого использования электромагнитных колебаний ММ-диапазона длин волн в биологических и медицинских исследованиях» (шифр «Явь») была поставлена в 1982 г. Научным руководите-

лем и главным конструктором был назначен Ю.В. Дедик. За основу была выбрана структурная схема аппарата, показанная на рис. 26.

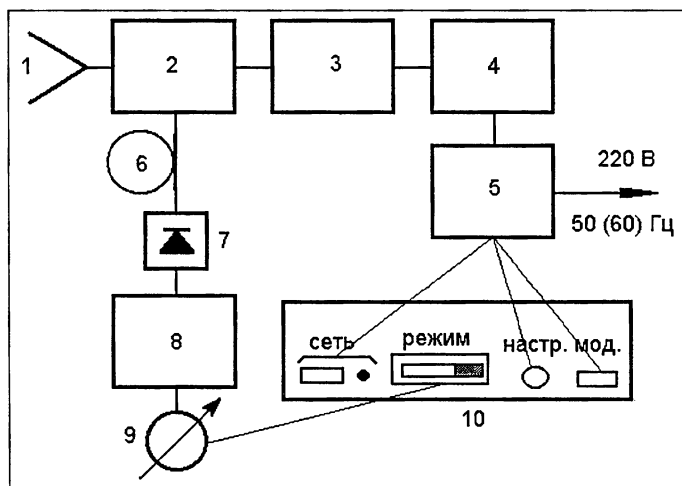


Рис. 26. Блок-схема терапевтического аппарата «Явь-1»:

- 1 – рупор; 2 – направленный ответвитель; 3 – вентиль;
4 – ЛПД генератор, варактор; 5 – источник питания;
6 – резонатор; 7 – детектор; 8 – усилитель; 9 – индикатор;
10 – передняя панель прибора

У этой схемы есть несколько конструктивных особенностей:

- наличие волноводного вентиля, предназначенного для устранения эффекта затягивания частоты генерации ЛПД из-за изменяющейся нагрузки. Реально влияние нагрузки проявляется в отраженном сигнале от поверхности тела пациента. Такое техническое решение является вполне резонным, так как отраженный от кожи человека сигнал может достигать во время сеанса лечения величины 40...50% от падающей мощности;
- наличие схемной связки «направленный ответвитель — высокочастотный резонатор — детектор

— усилитель — индикатор». Особенность здесь состоит в способе включения резонатора (с собственной добротностью $Q_0 \sim 3000$), настроенного на рабочую частоту f_{p1} или f_{p2} . Резонатор работает в режиме «отсоса» мощности из тракта, поэтому при точной настройке генератора на ЛПД с помощью варакторного диода на стрелочном индикаторе фиксируется минимум показания, что позволяет оператору (врачу) подстраивать аппарат на рабочую частоту или при необходимости проводить поверочную коррекцию. Успешная работа по созданию опытных образцов аппарата «Явь» послужила основанием для изготовления десятков экземпляров приборов, переданных в 1983 г. для испытания в ведущие клиники страны. После успешного завершения опытно-конструкторской работы Приказом Комитета по новой медицинской технике МЗ СССР от 22.07.1987 г. аппарат «Явь-1» был рекомендован к промышленному выпуску и применению.

Технические параметры серийных терапевтических аппаратов «Явь-1» выглядят следующим образом:

рабочая длина волны	5,6 или 7,1 мм
девиация частоты	не более ± 150 МГц
выходная мощность	20–25 мВт
плотность мощности на выходе рупора ..	10 мВт/см ²
потребляемая мощность от сети .	220 В, 50 Гц, 25 ВА
габаритные размеры	180×260×290 мм
масса (без штативов)	3 кг
средний срок службы	5 лет

Приоритет организации-разработчика первых в мире терапевтических аппаратов «Явь-1» в ММ-диапазоне длин волн был закреплен Регистрационным Удостоверением № 87/901-45 от 22.07.1987 г., выданным Управлением по внедрению новых лекарственных средств и медицинской техники МЗ СССР.

Одновременно с выпуском первой партии серийных аппаратов типа «Явь-1» были разработаны,

апробированы и утверждены МЗ СССР первые методические рекомендации по использованию ММ-терапии в условиях клиники (Инструкции по применению устройства для КВЧ-терапии «Явь-1» были утверждены МЗ СССР 14.09.1987 г.).

Успешное освоение в серийном производстве аппаратов «Явь-1», ставших базовыми для будущих разработок, ускорило проведение экспериментальных исследований, а также способствовало накоплению большого клинического материала.

Приборы ММ-терапии, для которых прообразом явился аппарат «Явь-1»

Комплекс технических параметров прибора «Явь-1» послужил основой для копирования его основных параметров и конструктивных решений в десятках модификаций приборов, выпущенных за последние двадцать лет различными организациями как в РФ, СНГ, а также за рубежом. К настоящему времени на медицинском рынке можно найти около 100 разно-видностей терапевтических аппаратов в ММ-диапазоне. В подавляющем большинстве в этих аппаратах воспроизводятся такие основные параметры аппаратов «Явь», как рабочие длины волн ($\lambda = 5,6$ и $7,1$ мм), плотность выходной мощности ($P \sim 10$ мВт/см²), модуляция несущей частоты (девиация $\Delta f = \pm 50 \dots 150$ МГц) и т.д.

Таким образом, первые в мире терапевтические аппараты «Явь-1» являются прародителями огромного многообразия терапевтических ММ-аппаратов, выпускаемых как в РФ, так и за рубежом. Отметим, что почти одновременно с разработкой аппарата «Явь-1» в НПО «Сатурн» (г. Киев) был предложен и апробирован терапевтический аппарат «Электроника КВЧ» в различных модификациях [179,180]. В качестве частоты несущего колебания в этих приборах выбрана линия поглощения атмосферного кислорода $f_0 = 61,2$ ГГц ($\lambda = 4,9$ мм), применена амплитудная мо-

дуляция несущего колебания, а также предусмотрен прерывистый режим работы аппарата (генерация – пауза – генерация и т. д.)

Миниатюрные аппараты для стационарного, амбулаторного и индивидуального использования

Базовые аппараты «Явь-1» разрабатывались как стационарные аппараты, и они прекрасно зарекомендовали себя в условиях медицинских учреждений. Широкое внедрение этих приборов в медицинскую практику подтвердило высокую эффективность ММ-терапии в качестве нового безмедикаментозного метода лечения различных заболеваний человека. В результате массовой клинической апробации медицинскими работниками было сформировано важное для всего этого направления положение о том, что ММ-терапия как новый метод имеет большие потенциальные возможности. Но одновременно выявились и недостатки аппаратов, заключающиеся, в частности, в том, что их трудно использовать в случае лечения тяжелых больных (большая масса и, кроме того, использование тяжелого и жесткого штатива затрудняет доступ к отдельным областям на теле тяжело больных).

В начале 90-х годов возникла острая необходимость в разработке малогабаритных (портативных) аппаратов для амбулаторного и индивидуального использования под наблюдением лечащих врачей. Очевидно, что в аппаратах нового поколения было важно сохранить основные функциональные возможности и параметры базовых стационарных аппаратов.

Большинство новых малогабаритных аппаратов для КВЧ-терапии снабжено индикацией режимов работы, автоматической подстройкой частоты (вместо ручной), световой и звуковой индикацией начала и окончания лечебной процедуры, автоматическим отключением прибора после окончания процедуры, самодиагностикой функций аппарата и др.

Первый миниатюрный аппарат типа «Луч-КВЧ» был разработан в Институте технической механики Национальной академии наук Украины (г. Днепропетровск.), затем появились аппараты «Стелла» (г. Томск), «Арцах» (Армения) и др. [33,181].

При активном участии авторов настоящей работы были предложены, разработаны и запатентованы новые аппараты в миниатюрном исполнении, обеспечивающие высокую эффективность лечения в новых условиях применения [182–184].

Наиболее перспективным аппаратом в этой новой серии явился прибор типа «КВЧ-М-1И-5,6/7,1-МТА» разработки ЗАО «МТА-КВЧ» (коммерческое название — «Малыш»). Аппарат состоит из двух частей: аппликатора (3, 4, 5, 6, 7, 8), связанного с блоком управления низкочастотным кабелем, и блока питания и управления (1, 2), а также индикации (8) (см. структурную схему на рис. 27).

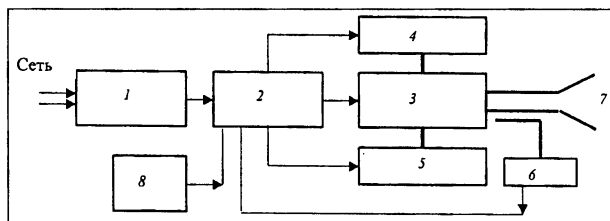


Рис. 27. Структурная схема портативного КВЧ-аппарата «КВЧ-М-1И-5,6/7,1-МТА» («Малыш»):

1 – понижающий трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – генераторы КВЧ на диодах Ган-на (5,6 и 7,1 мм); 4 – НЧ-генератор на 8 и 16 Гц (амплит. модуль); 5 – НЧ-генератор на 100 Гц (частотн. модуль); 6 – индикатор КВЧ; 7 – рупорная (передающая) антенна; 8 – блок индикации (светодиоды)

Собственно аппликатор (рис. 28) состоит из набора необходимого количества КВЧ-генераторов), настроенных на терапевтические длины волн (например, $\lambda = 5,6$ и $7,1$ мм).

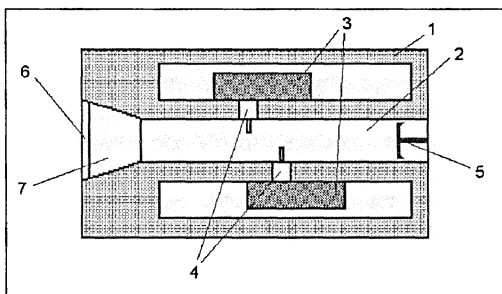


Рис. 28. Схема КВЧ-аппликатора аппарата «КВЧ-М-1И-5,6/7,1-МТА»:

1 – цилиндрический корпус; 2 – основной волновод; 3 – генераторы на диодах Ганна; 4 – антенны генераторов; 5 – согласующий поршень; 6 – согласующая диэлектрическая мембрана; 7 – рупорная (передающая антенна)

Выбор нужного КВЧ-генератора осуществляется с помощью блока управления. Таким образом, аппарат обеспечивает последовательную (поочередную) работу генераторов. Электромагнитные колебания генераторов (3) через антенны (4) возбуждают основной волновод (2). На одном конце этого волновода размещается согласующий поршень (5), предназначенный для обеспечения оптимального значения выходной мощности аппликатора. Другой конец волновода переходит в рупорную излучающую антенну (7), которая обеспечивает работу аппликатора на различных несущих частотах.

Схема аппликатора имеет еще несколько оригинальных конструктивных решений (по сравнению с аппаратами типа «Явь-1»). Так, например, рупорная волноводная антенна (7) закрывается диэлектрической пластиной (6), которая служит для согласования антенны с кожей пациента. Это конструктивное решение также было запатентовано [185], а ее оптическим аналогом является широко используемые на практике четвертьволновые диэлектрические пленочные трансформаторы (так называемая «голубая оптика»). Эффективность использования согласующей

мембраны можно продемонстрировать на следующем примере. При использовании открытой рупорной антенны в аппаратах «Явь-1» от кожи пациента может отражаться до 40...50% падающей мощности. В аппаратах типа «Малыш» эта величина составляет 6...8%. Следовательно, в этих аппаратах абсолютное значение выходной мощности могло быть уменьшено примерно вдвое (по сравнению с приборами типа «Явь-1») при сохранении неизменного значения мощности КВЧ-излучения, проникающего в кожу пациента при сеансе ММ-терапии. При этом значительно уменьшается и мощность излучения, рассеиваемого в окружающую среду. Миниатюризация аппаратов стала возможной благодаря использованию в качестве активных элементов КВЧ-генераторов диодов Ганна вместо лавинно-пролетных диодов. К преимуществу ганновских генераторов следует отнести (мы сравниваем аппараты «Малыш» и «Явь-1»): меньшее рабочее напряжение (5 В вместо 30 В), что позволяет использовать для их питания автономные источники питания пальчиковые аккумуляторы; большие значения КПД. Хотя в ГД рабочие токи несколько больше, чем в ЛПД (примерно 100...150 мА вместо 60...80 мА), но в целом мощность теплорассеяния для ГД меньше (~0,5 Вт), чем в случае ЛПД (~1,5 Вт), что является существенным для миниатюризации аппликаторов.

Важно обратить внимание также еще на одну конструктивную особенность аппаратов типа «Малыш»: собственно КВЧ-генераторы (3) располагаются вокруг основного волновода (2); такое конструктивное решение дает возможность использовать в аппликаторе более двух различных КВЧ-генераторов (3), настроенных на разные длины волн, что позволяет сделать аппараты поличастотными (рис. 6.2). Слабая связь антенн генераторов с основным волноводом исключает взаимное влияние генераторов при одновременной работе на нагрузку (затягивание частоты). Эта проблема на практике полностью снимается, если генераторы работают по-

очередно на одной из выбранных заранее длин волн, что определяется тактикой лечения того или иного заболевания. Таким образом, главное преимущество этой схемы состоит в том, что можно объединить в одном приборе несколько частот генерации классических аппаратов типа «Явь-1» ($\lambda=5,6$ и $7,1$ мм).

В аппаратах типа «Малыш» впервые использована (дополнительно к частотной модуляции) амплитудная модуляция для несущего колебания. Для амплитудной модуляции выбрана частота 8 Гц или ее ближайшая гармоника (16 Гц), эффективность применения которых в медицинских аппаратах различного назначения уже давно известна (частота 8 Гц является частотой α -ритма (основного ритма) биотоков мозга человека и соответствует частоте так называемого тропосферного волновода Земли). Основные технические параметры аппарата «Малыш» следующие:

рабочие длины волн	5,6 и 7,1 мм
выходная мощность	3–5 мВт
плотность мощности на апертуре антенны	10 мВт/см ²
девиация несущей частоты	100 МГц
частота свипирования несущей частоты	100 Гц
частоты амплитудной модуляции	0; 8; 16 Гц
масса аппликатора	6 г
масса блока питания и управления	200 г

На рис. 29 показана другая разновидность аппарата «Малыш».

Отличительной особенностью этой схемы является дополнительное использование электромагнитного излучения в видимом диапазоне длин волн. В медицинской практике давно уже используется оптическое излучение различных цветовых оттенков — цветолечение или фототерапия, и создан ряд аппаратов для такого лечения. В основе цветолечения лежит хорошо установленный экспериментальный факт, что, например, излучение зеленого цвета полезно при лечении нервных заболеваний, желтого цвета — желудочных, а красный цвет оказывает общеукрепляющее действие.

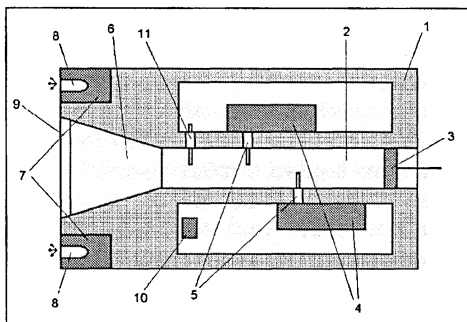


Рис. 29. Схема КВЧ-аппликатора со светодиодами:

1 – корпус аппликатора; 2 – основной волновод; 3 – согласующий поршень; 4 – КВЧ-генератор на диодах Ганна; 5 – антенны генераторов; 6 – рупорная (передающая) антенна; 7 – диэлектрическое кольцо; 8 – светодиоды; 9 – согласующая диэлектрическая мембрана; 10 – термистор; 11 – антенна встроенного КВЧ-индикатора (на рис. не показана)

В схеме на рис. 29, наряду с КВЧ-излучением, применяется излучение светодиодов (8) в красном диапазоне (световая мощность светодиода равняется примерно 10 мВт). Шесть светодиодов располагаются на диэлектрическом кольце (7), охватывающем рупорную КВЧ-антенну (6). Конструкция такого аппарата также была запатентована в РФ, а сами аппараты нашли применение на практике.

В таких аппаратах можно использовать дополнительные элементы для контроля различных выходных параметров, например, термопар или терморезонаторов (10) для контроля температуры корпуса аппликатора или полупроводниковых индикаторов КВЧ-излучения (11) (транзисторы, диоды Шоттки и др.). Например, в соответствии с медицинскими стандартами температура корпуса аппликатора не должна превышать 38...40° С, и при приближении рабочей температуры к этому пределу (а такая ситуация на практике возможна из-за естественного разброса ГД по рабочему току) микропроцессор в блоке питания пе-

реклаючает работу аппликатора из непрерывного (обычного) режима работы в импульсный, что приводит к уменьшению мощности рассеяния в некоторое число раз, пропорционально скважности импульсного КВЧ-сигнала.

Необходимость в непрерывном контроле выходной КВЧ-мощности в ряде случаев оправдывает также и использование в аппликаторе внутреннего индикатора, тогда как в обычных аппаратах ММ-терапии используют, как правило, автономные индикаторы КВЧ-мощности.

Наконец, рассмотрим схему оригинального многофункционального аппарата «Универсал», который, по мнению авторов работы, может явиться прообразом аппаратов ММ-терапии следующего поколения (рис. 30).

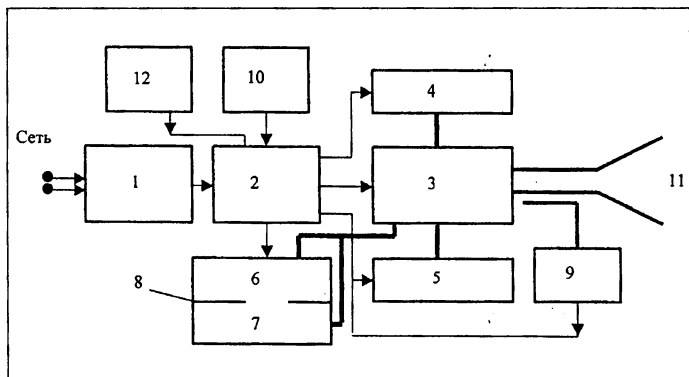


Рис. 30. Структурная схема портативного КВЧ-аппарата «КВЧ-М-ЗИ-5,6/7,1-МТА»:

1 – понижающий трансформатор; 2 – выпрямитель; 3 – генераторы КВЧ на диодах Ганна (4,9; 5,6 и 7,1 мм); 4 – НЧ-генератор на 8 и 16 Гц (амплит. модул.); 5 – НЧ-генератор на 100 Гц (частотн. модул.); 6 – микропроцессор (ручное управление); 7 – микропроцессор (программное управление; 8 – блок управления; 9 – индикатор КВЧ; 10 – таймер; 11 – рупорная (передающая) антенна; 12 – блок индикации (светодиоды и «бегущая строка»)

В этом аппарате использованы новейшие достижения в области полупроводниковой техники, схемотехники, дизайна, а также предусмотрены дополнительные сервисные возможности. Аппарат обладает следующими отличительными признаками.

1. Возможность одновременного использования нескольких (в разработанных приборах — трех) аппликаторов на одной или разных частотах.

Такая необходимость может возникнуть, например, при лечении некоторых заболеваний человека, когда аппликаторы должны прикладываться одновременно к нескольким точкам (БАТ) или зонам (Захарьина-Геда) в соответствии с тактикой лечения того или иного заболевания, причем рабочие частоты аппликаторов могут быть одинаковыми или разными.

2. Помимо ручного управления выходными параметрами аппликатора (рабочая частота, вид модуляции, время сеанса и т.д.) предусматриваются и заранее запрограммированные режимы управления аппликаторами с помощью встроенного микропроцессора, что позволяет, в частности, зашить в программу «стандартные» режимы лечения конкретного заболевания или обеспечить закрытость авторского «ноу-хау» (такая возможность на практике возникает, например, при лечении «экзотических» заболеваний по оригинальным авторским материалам).

3. Прибор предполагает управление от персонального компьютера, что в сочетании с разработанным авторами программным обеспечением «Электронный справочник по ММ-терапии» и «Рабочее место КВЧ-терапевта» позволяет повысить эффективность лечения и значительно упростить процедуру лечения, особенно в случаях, когда на начальном этапе квалификация врача в области ММ-терапии является невысокой.

4. В приборе имеется целый набор дополнительных сервисных возможностей, например, индикация работы конкретного аппликатора, выбор рабочей частоты амплитудной модуляции, таймер, звуковая индикация

окончания сеанса, режим «пауза», использование дисплея с «бегущей строкой»-подсказкой для облегчения работы врача-терапевта и др. В последней модификации этого аппарата («Универсал-МТА») используются три автономных аппликатора, причём к блоку питания и управления можно подключать одновременно три аппликатора с любым набором частоты генерации.

Таким образом, один аппарат типа «Универсал» объединяет в себе функциональные возможности и выходные параметры целого ряда используемых на практике аппаратов.

В заключение отметим, что конструктивные и функциональные возможности портативных аппаратов типа «Универсал» позволяют использовать в них любые новые «медицинские» частоты во всем миллиметровом диапазоне длин волн и любые формы КВЧ-радиосигналов. Это можно продемонстрировать на примере нового аппарата в коротковолновой части ММ-диапазона («Малыш-Мечта»), в котором использована новая частота $f = 118$ ГГц ($\lambda = 2,53$ мм). Эта частота соответствует второй «сильной» линии поглощения ММ-волн кислородом атмосферы и, как показывают предварительные оценки, она может эффективно использоваться при лечении кожных заболеваний различной этиологии.

Одной из новых тенденций является создание КВЧ-аппаратов, управляемых непосредственно от персонального компьютера. Созданы платы, встраиваемые в компьютер, обеспечивающие требуемые режимы питания полупроводниковых генераторов, включая различные виды модуляции. Разрабатываются автоматизированные рабочие места в кабинетах КВЧ-терапии с применением компьютерной техники как для управления процессом облучения, так и для проведения диагностики больного.

Удачным оказалось медицинское применение КВЧ-генераторов с особым режимом шумового, недетерминированного излучения на тех же апробированных

(средних) длинах волн. Использование такого излучения основывалось на предположении, что организм человека как частотно-избирательная система сам выберет из воздействующего шумового КВЧ-сигнала индивидуальную частоту, соответствующую этому организму и данной патологии. Впервые такой режим был реализован на средних длинах волн 5,6 и 7,1 мм в аппарате «Шлем» (ИРЭ РАН, г.Фрязино) [186], и несколько позже - на длине волны 4,9 мм в аппарате «Электронике КВЧ-104».

5.2. Лечебно-диагностические комплексы

Следующим важным этапом внедрения ММ-терапии в медицинскую практику является разработка лечебно-диагностических комплексов в КВЧ-диапазоне с индивидуальным подбором частоты. Было предложено несколько оригинальных подходов реализации комплексов.

Исторически первым в нашей стране был разработан комплекс «Ялбот-Ярмарка», который включает в себя диагностическую часть («Ялбот») и лечебную («Ярмарка»)[187].

В 1990–93 гг. в НИИ «Исток» одновременно были проведены две опытно-конструкторские работы. Одна работа – «Ярмарка» была посвящена разработке серии аппаратов на сетку частот КВЧ, достаточную для перекрытия возможного диапазона частот, при которых в эксперименте можно было бы наблюдать изменение реологических свойств крови больного *in vitro*. Основной целью этой работы было создание аппаратуры для диагностики. Во второй работе - «Ялбот» предусматривалась разработка новых терапевтических КВЧ-аппаратов на эту же сетку частот. Эти диагностические и терапевтические аппараты конструктивно и технологически полностью базировались на разработанных ранее и серийно выпускаемых аппаратах типа «Явь-1».

Оказалось, что в качестве диагностического параметра можно выбрать, например, изменение реологических свойств крови пациента (вязкость, скорость оседания эритроцитов и т.д.). Собственно «диагностика» сводится к тому, что из нескольких фиксированных частот аппарата «Ялбот» (в этом комплексе имеется пять КВЧ-аппаратов) выбирается та частота, при воздействии которой на кровь фиксируется максимальный отклик. Именно на этой частоте, но уже с использованием аппаратов «Ярмарка», проводится лечение пациента (в «Ярмарке» тоже пять аппаратов и их частоты идентичны частотам аппаратов «Ялбот»). Такая методика хорошо зарекомендовала себя при лечении больных гастроэнтерологического профиля.

Одним из первых АДК был предложен также в Институте технической механики Национальной академии наук Украины (г. Днепропетровск). К многоканальным приборам для КВЧ-терапии типа «Луч-КВЧ» был добавлен специальный аппарат электропунктурной диагностики «Луч КВЧ-Д», который по электрофизическим параметрам (комплексная проводимость, анодно-катодная проводимость и градиент температуры) БАТ, измеряемым на постоянном и переменном токе, позволял получить объективную информацию о состоянии организма и выделить органы и системы с патологией [188].

В медицинском центре «БелНико» (г. Витебск) был предложен компьютеризированный АДК, в котором с аппаратами «Явь-1» совмещался диагностический электропунктурный прибор «Этуния» (диагностика проводится по методу Фолля-Катина).

АДК «МИДИС-710-4» (г. Москва) имеет встроенную систему поиска БАТ и диагностическую систему Акабане.

В последние годы был предложен и разработан лечебно-диагностический комплекс [189], основанный на открытии саратовскими физиками неизвестного ранее

эффекта (СПЕ-эффект) при взаимодействии низкоинтенсивных ММ-волн с организмом человека, а также с любыми водосодержащими объектами [44]. Сущность этого эффекта, его физическая интерпретация подробно обсуждались в разделах 2.5 и 2.6.

Как уже указывалось, в экспериментах, связанных с исследованием особенностей взаимодействия радиоволн с водными объектами, впервые был применен принцип существенного (на 1–2 порядка) разнесения частот падающих и отраженных (принимаемых) радиоволн. При этом интенсивность и частота излучения в области приема отчетливо характеризуют свойства и состояние объекта. Механизмом такого переноса из ММ- в ДМ-диапазон служит диссипация энергии ММ-волн, которая и приводит к дополнительному шумовому фону в среде объекта в широком диапазоне частот, в том числе длинноволновой части спектра — ДМ-диапазоне, принимаемому радиометром как радиоотклик на КВЧ-воздействие. Возбужденные ММ-волны, распространяясь в среде, способны охватывать значительные объемы, по меньшей мере, в пределах скин-слоя волн ДМ-диапазона. Тогда сигнал радиоотклика будет достаточен для регистрации его радиометром.

Изучение длительного воздействия ММ-волн на тело пациента проводится на одной из резонансных частот. В этом случае запись радиоотклика проводится во времени. Данный метод составляет основу КВЧ-терапии в разработанном лечебно-диагностическом комплексе. Таким образом, можно считать, что система «вода-волна» выполняет коммуникационно-корректирующую роль. При глубокой патологии, когда возможностей внутренних источников ММ-волн недостаточно для ее коррекции, необходимо внешнее (терапевтическое) ММ-воздействие на резонансных частотах воды. Данные представления лежат в основе разработанных методов диагностики и терапии, исполь-

зующих собственные резонансные радиоволновые процессы организма.

В этом состоит сущность метода резонансно-волновой диагностики и молекулярно-волновой КВЧ-терапии. Метод чрезвычайно чувствителен к тонким структурным перестройкам и функциональному состоянию объектов.

Схема работы комплекса представлена на рис. 31.

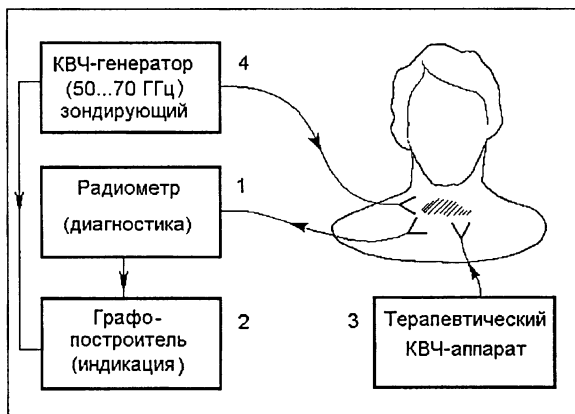


Рис. 31. Схема лечебно-диагностического комплекса СВЧ

Комплекс включает в себя четыре основных блока: диагностический (1), индикаторный (2), терапевтический (3), а также КВЧ-генератор (4), перестраиваемый в частотном диапазоне 50...70 ГГц. Вся процедура лечения сводится к следующей последовательности действий. Прежде всего, снимается спектральная характеристика теплового радиоизлучения из той области тела пациента, которая ответственна за заболевание пациента. Так как обнаруженные и описанные выше резонансные частоты не выходят за пределы 50...70 ГГц ($f_0 \sim 50,3; 51,8; 65$ ГГц), то вполне достаточно использовать для этих целей генераторы КВЧ, допускающие

плавную перестройку частоты. В качестве таких генераторов можно использовать стандартные приборы серии Г4, например, Г4-141, Г4-142. Подходящими для этой цели являются также любые аппараты, использующие в качестве активных элементов вакуумные или полупроводниковые приборы. Результатом диагностики является спектр радиотеплового излучения пациента при облучении его ММ-волнами (индикаторный блок). В качестве индикатора могут быть использованы любые средства отображения графической информации: самописцы, дисплеи и т.д. По спектральной характеристике выбирается та частота f_p , в области которой отмечается наибольшее отклонение от стандартной спектральной характеристики (для воды, рис. 13) Частота f_p используется в терапевтическом КВЧ-аппарате для проведения курса лечения. Таким образом, лечебно-диагностический комплекс предусматривает использование комплекта из трех КВЧ-терапевтических аппаратов, соответствующих трем значениям резонансных частот ($f_0 \sim 50,3; 51,8; 65$ ГГц).

Основанием для окончания курса лечения служит близость итоговой спектральной характеристики теплового радиоизлучения пациента к стандартной. Клиническая апробация при лечении различных заболеваний человека показала, что обычно достаточное количество сеансов лечения лежит в пределах 15...20. Окончательно вопрос о завершении курса лечения может также решаться и с привлечением стандартных диагностических методов, которые в настоящее время используются в наших медицинских учреждениях (рентгеновские, ультразвуковые и тепловизионные исследования и т.д.).

В НПО «Форум» (г. Москва) разработан АДК «Шарм», в котором поиск точек акупунктуры, риодораку и фоллевская диагностики позволяют производить целенаправленную, контролируемую коорекцию состояния организма с помощью КВЧ-облучения. Рассмотрим оригинальную схему этого АДК подробнее.

5.3. Аппаратурный комплекс для функциональной диагностики и КВЧ-коррекции состояния человека «Шарм»

Применение современных радиоэлектронных методов в рефлексотерапии и пути создания новой медицинской техники

Как известно, восточная медицинская методика состоит из диагностики и лечения [190]. В первом случае одним из основных методов является пульсодиагностика, а во втором – иглоукалывание. При этом в большей степени по сравнению с западной (современной) медициной лечат больного, а не болезнь, то есть улучшают функциональное состояние систем организма, его органов и защитных механизмов. Метод лечения заключается в том, чтобы на основании правильного диагноза «отрегулировать» с помощью иглоукалывания состояние 12-ти основных меридианов (по древнекитайской терминологии), поддерживающих динамическое равновесие организма.

Основная ценность восточной медицины – в накопленных тысячелетиями знаниях о расположении и свойствах акупунктурных точек, объединенных в одну общую систему меридианов. Эта система отражает (с выходом на поверхность тела) и поддерживает состояние функционально-энергетических проявлений гомеостаза организма, обеспечивает возможность его регулирования и стимуляции. Оставаясь на уровне малодоступной для западных врачей традиционной восточной диагностики, мы лишаемся широких терапевтических возможностей восточной медицины.

Перспективный выход из сложившейся ситуации, который может к тому же дать большой социальный и экономический эффект, заключается в создании новой медицинской техники электропунктурной диагностики и коррекции гомеостаза на базе современной радиоэлектроники и разработке соответствующих методик.

С точки зрения физика имеется один неоспоримый, многократно проверенный факт – электропроводность в точках акупунктуры (ТА) всегда больше, чем во всех других областях тела, и при электростимуляции ТА возбуждение распространяется вдоль (по ходу) меридиана. Имеется также многократно проверенный факт, что при заболевании органа болезненными становятся точки, связанные с меридианом именно этого органа. Морфологические исследования свидетельствуют, что ТА – это выходы к поверхности кожи скоплений нервных волокон и специализированных рецепторов, рефлекторно связанных с различными органами и системами, в том числе и с центральной нервной системой.

Система ТА, расположенная на меридианах, связывает покров тела с внутренними органами и центральной нервной системой. Через эти природные «окна» – ТА можно не только наблюдать состояние каждого органа, но и эффективно воздействовать, осуществлять регулирование систем гомеостаза, вызывать эффект мобилизации защитных сил организма.

Что можно использовать для модернизации восточной рефлексотерапии из элементов технического прогресса?

Во-первых, уже давно появились приборы для измерения электрофизических параметров и стимуляции точек акупунктуры.

Во-вторых, появилась компьютерная рефлексодиагностика и соответствующая аппаратура.

В-третьих, появились новейшие радиофизические методы терапии, например КВЧ-терапия. Они более эффективны, удобны и безопасны, чем иглоукалывание или прижигание. Рассмотрим три упомянутых аспекта.

Для измерения электрофизических параметров ТА в настоящее время используют целый ряд методов. На наш взгляд наиболее практичный из них – метод Накатани (1950 г.).

Согласно традиционной восточной медицине состояние биологически активной точки отражает функциональное состояние соответствующего органа. Отклонение от нормы в работе внутренних органов приводит к изменениям электропроводности в определенных точках на поверхности тела. На левой и правой сторонах тела имеется по 12 меридианов – риодораку. В переводе с японского риодораку – хорошо проводящая линия.

Используя огромный статистический материал обследования как больных, так и здоровых людей, профессор Накатани разработал метод диагностики на основе риодораку. Он обнаружил, что на каждом меридиане существует точка, характеризующая состояние меридиана в целом. Это так называемые репрезентативные точки.

В этих точках он производил измерения функционального состояния органов, подавая на измерительный электрод напряжение 12 вольт относительно опорного электрода. При коротком замыкании электродов ток в цепи, измеряемый микроамперметром с сопротивлением 60 кОм, составлял 200 микроампер. При включении в разрыв цепи между электродами участка кожи вокруг той или иной точки акупунктуры величина тока в цепи, фиксируемая микроамперметром, падала обратно пропорционально увеличению сопротивления. Результаты измерения наносились на карту риодораку, в которой одновременно отмечались и коридоры нормального функционального состояния каждого органа. Все результаты измерений, не попавшие в коридор нормы, трактовались при этом как патология функционального состояния. Метод Накатани и карта риодораку известны в рефлексотерапии, где он заменяет традиционную пульсодиагностику, и описаны в соответствующих монографиях. Они широко используются в мировой практике, в отличие от многих модификаций, в том числе и российских.

Однако этот метод имеет, по крайней мере, два недостатка:

- 1) отсутствие автоматизации измерений, результаты которых обрабатываются и наносятся на карту риодораку вручную, что требует достаточно длительного времени;

- 2) само измерение оказывает влияние на функциональное состояние пациента — происходит электрический пробой точек и повторное измерение возможно лишь после их восстановления (спустя много часов).

Допустимые (физиологические) отклонения лежат в очень узком интервале (порядка 10%). При фиксированном среднем токе электропроводность каждой точки меридиана должна быть строго фиксированной, определяемой по карте риодораку.

В работах [191–197] было осуществлено дальнейшее развитие метода риодораку с тем, чтобы преодолеть указанные недостатки:

- 1) Осуществлена автоматизация и компьютеризация измерений и обработки результатов. С этой целью сложная таблица карты риодораку с нелинейной шкалой проводимости, разной для каждого из главных органов, была преобразована в единый алгоритм с одинаковой нормой допустимых отклонений, полностью совпадающий с нормой классической диаграммы риодораку

Допустимое отклонение от нормы при фиксированном среднем токе одинаково у всех меридианов.

Вводя через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) измеряемые значения токов в компьютер и строя соответствующие таблицы и графики по всем 12-ти меридианам (правым и левым), мы автоматически получаем на экране монитора и в базе данных необходимое нам отображение информации о функциональном состоянии главных органов и систем человека.

- 2) Осуществлено снижение мощности воздействия на пациента при измерениях примерно на три порядка, что практически исключило воздействие на

функциональное состояние пациента, обеспечило возможность повторных измерений и их воспроизводимость. Это было достигнуто за счет введения относительной шкалы измерений, а не абсолютной, тогда как у Накатани максимальные значения тока соответствовали двумстам микроамперам. Были снижены в 20 раз измерительное напряжение и ток, оставив по-прежнему максимальный масштаб шкалы при коротком замыкании в 200 условных делений, чтобы не менять формулу программного алгоритма. Относительное уменьшение величины тока с двухсот делений при коротком замыкании электродов до меньших значений зависит, как и прежде в методе Накатани, только от соотношения измеряемого сопротивления кожи и внутреннего сопротивления преобразователя. Поэтому программа автоматизированных вычислений, соответствующая карте риодораку, остается прежней, но с меньшей мощностью воздействия и увеличенной чувствительностью аппаратуры.

Удобство, оперативность и надежность измерения состояний электропунктурных проявлений состояний гомеостаза появляется тогда, когда измерения и их обработка проводятся не с помощью микроамперметра и ручных вычислений по диаграмме риодораку, а с помощью персонального компьютера, который обеспечивает простоту получения диагностических данных, высокую производительность и большую точность результата.

В ИРЭ РАН (г. Москва) разработан полностью автоматизированный комплекс, радикально упростивший процесс диагностики риодораку. Время обследования одного пациента не превышает 5 мин.

Обследование заключается в определении электропроводности кожи на всех 12 меридианах слева и справа. Отклонения от нормы фиксируются на уровне функциональных нарушений задолго до появления органических изменений в органах, что позволяет предотвратить развитие болезни. Комплекс способен

выявлять все скрытые патологические процессы. Он состоит из персонального компьютера и электронного блока первичного преобразования (АЦП). После измерения всех точек на экране дисплея выводятся таблицы и графики состояния системы риодораку. Степень отклонения от физиологической нормы наглядно иллюстрируется цифрами и графиками. Кроме того, указывается средний ток, или общий тонус (по восточной терминологии – запас жизненной энергии), для каждой тестируемой ТА. Интерпретация измерений электрофизических параметров ТА позволяет врачу получить информацию о функциональных отклонениях организма и выбрать стратегию воздействия для коррекции. Более подробное описание комплекса будет дано ниже.

На протяжении последних пятнадцати лет был проведен длительный цикл диагностических электропунктурных измерений, КВЧ-воздействия на зоны ТА и поиск оптимальной методики этого воздействия. Всего было проведено несколько десятков тысяч токовых измерений в зонах ТА до и после КВЧ-воздействия.

На рис. 32 показана диаграмма риодораку, полученная при экспресс-диагностике, когда имел место дисбаланс в системе меридианов и низкий тонус. КВЧ-воздействие на длине волны 7,1 мм было произведено в течение 40 мин на тонизирующие точки угнетенных меридианов IG, MC и P.

Результат коррекции функционального состояния показан на рис. 33.

Диаграмма риодораку была снята через 30 мин после окончания КВЧ-воздействия. Хорошо видно улучшение баланса в системе меридианов.

Таким образом, первый вывод заключается в том, что КВЧ-воздействие на ТА резко изменяет состояние системы риодораку. Вторым выводом является то, что результат КВЧ-воздействия зависит от начального состояния системы риодораку и нельзя, например, угнетать уже угнетенные органы, или то-

низировать возбужденные. Чтобы контролировать указанные положения и осуществлять при этом принцип «лечить не болезнь, а больного» при воздействии на систему ТА и биологически активных зон (БАЗ) необходимо иметь комплекс аппаратуры экспресс-диагностики и коррекции функционального состояния человека с соответствующим программным обеспечением.

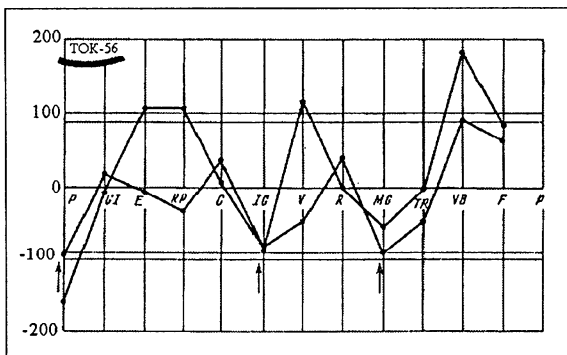


Рис.32. Диаграмма риодораку (стрелками указаны меридианы, по которым проводилась коррекция)

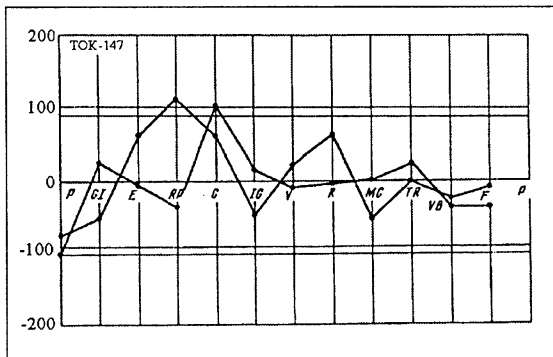


Рис. 33. Диаграмма риодораку после коррекции

Аппаратура лечебно-диагностического комплекса «Шарм»

ЛДК «Шарм» — это новый компьютеризованный комплекс с диагностическим программным обеспечением, терапевтическими рецептами для выравнивания патологических отклонений и обширной базой данных (см. рис. 34).

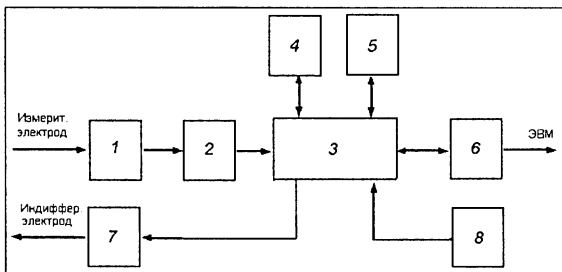


Рис. 34. Схема измерительного блока ЛДК «Шарм»

1 – входной преобразователь; 2 – аналого-цифровой преобразователь; 3 – микропроцессор; 4 – оперативное запоминающее устройство; 5 – постоянное запоминающее устройство; 6 – блок оптронной развязки; 7 – блок опорных напряжений; 8 – аккумуляторная батарея

При этом в единый комплекс соединяются вместе три системы: экспресс-диагностика систем человеческого организма, пунктурное КВЧ-воздействие и методика коррекции функциональных состояний основных органов (КВЧ-пунктурные рецепты).

Комплекс создан в виде двух модификаций: стационарной и переносной. Стационарный комплекс включает: настольный персональный компьютер любой минимальной конфигурации XT/AT/286/386/486; сменную плату-адаптер с измерительными электродами. Переносный комплекс, который позволяет работать в условиях отсутствия сетевого питания, включает портативный персональный компьютер типа «Notebook» и выносной электронный блок с измерительными электродами.

Каждый из комплексов включает также

1) программный пакет, который обеспечивает пользователю дружественный интерфейс, позволяющий отображать на мониторе всю текущую информацию, вести базу данных, производить поиск, выводить информацию в виде графиков и таблиц на монитор и принтер;

2) терапевтический прибор типа «Явь-1» для КВЧ-терапии, работающий на фиксированных длинах волн 5,6 и 7,1 мм и обладающий малой плотностью потока мощности (10 мВт/см^2);

3) индикатор КВЧ-излучения;

4) техническое описание и методическое пособие.

Измерительная часть электронной платы имеет гальваническую развязку по цепям питания и по информационным каналам от ЭВМ, а поэтому абсолютно безопасна.

Комплекс позволяет:

- производить поиск точек акупунктуры на теле человека;

- проводить акупунктурную диагностику по методу риодораку;

- проводить исследования электрофизических параметров кожи в зависимости от времени;

- проводить КВЧ-коррекцию функционального состояния внутренних органов человека.

Время обследования одного пациента не превышает 5 мин.

Комплекс позволяет по состоянию электропунктурной проводимости меридианов в репрезентативных точках проводить экспресс-диагностику и коррекцию функционального состояния легких (Р), сосудистой системы (МС), сердца (С), тонкого кишечника (IG), эндокринной системы (TR), селезенки/поджелудочной железы (RP), печени (F), почек (R), мочевого пузыря (V), желчного пузыря (VB) и желудка (E).

АДК «Шарм» прошел апробацию в различных учреждениях Минздрава РФ. Клинические испытания

проведены по решению Комитета по новой медицинской технике МЗ РФ. При этом даны положительные рекомендации по применению АДК «Шарм» для лечения инсульта, диабета, невралгии тройничного нерва, остеохондроза, гипертонии и др., а также сформулирована более общая методика для тех случаев, где применяется обычное медикаментозное лечение. Проведенные испытания показали эффективность АДК «Шарм» при лечении указанной группы заболеваний.

Лечебно-диагностический комплекс «Шарм» является современным, надежным и эффективным средством, которое с успехом может применяться в клинической практике.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Традиционную рефлексотерапию можно перевести на базу современной радиоэлектроники путем применения компьютерных измерений функциональных состояний и воздействия на зоны ТА с помощью КВЧ-пунктуры.

2. Существование на кожной поверхности тела человека хорошо проводящих линий, совпадающих с классическими меридианами, подтверждено прямыми электрофизическими измерениями, реализованными с помощью аппаратуры «Шарм».

3. Лечебно-диагностический комплекс «Шарм» обладает широкими рефлексотерапевтическими возможностями как для экспресс-диагностики по методу риодораку, так и для воздействия низкоинтенсивным КВЧ-излучением с целью коррекции функционального состояния отдельных органов, систем и всего организма человека.

Имеет смысл остановиться кратко на электрофизическом подтверждении наличия замкнутой системы электропроводящих линий (меридианов) на поверхности кожи человека. С помощью электрофизических измерений при использовании данного комплекса подтверждено наличие системы меридианов, которая

до этого была установлена древнекитайскими врачами по клиническим (болевым) проявлениям. Морфологически меридианы до сих пор не выделены, хотя эта система весьма эффективно используется в рефлексотерапии. До сих пор продолжаются споры о том, существует ли указанная система, как существует, например, кровеносная или нервная системы. Если меридианы – линии распространения электро-химического (гуморального) возбуждения, установленные древневосточными медиками, до сих пор не обнаружены, то нужно попытаться обнаружить их хотя бы электрофизически, рассматривая пациента в какой-то мере как «черный ящик», внутренняя структура которого недостаточно известна, но на поверхности существуют рефлексорные отражения этой внутренней структуры.

Нам удалось провести измерения линий повышенной электропроводности всех 12-ти классических меридианов: Р, МС, С, IG, TR, GI, RP, F, R, V, VB и E. При этом были четко зафиксированы выделенные линии повышенной электропроводности по каждому из упомянутых меридианов в дистальных отделах конечностей, начиная от пальцев и вплоть до локтевых и коленных суставов. Можно зафиксировать также и дальнейший ход отдельных меридианов, например, в области туловища и головы. Это было сделано с помощью чувствительного АЦП с ценой деления 60 нА и режима временной развертки (АЦП подключался к коже пациента двумя электродами). Эта аппаратура кратко описана выше. Согласно методике измерения один из них цилиндрический, массивный, прижимался к внутренней стороне ладони, а другой — активный электрод площадью 1 см² служил для измерения проводимости в конкретной ТА.

При подаче в измерительную цепь опорного напряжения 0,6 В при внутреннем сопротивлении 100 кОм на поверхности кожи четко фиксируются сплошные линии повышенной проводимости, полностью совпадающие с классическими линиями 12-ти меридианов.

На рис. 35 показаны 12 меридианов ноги и руки, зафиксированные на временной развертке при медленном поперечно-круговом равномерном движении зонда (активного электрода) ниже коленного и локтевого суставов.

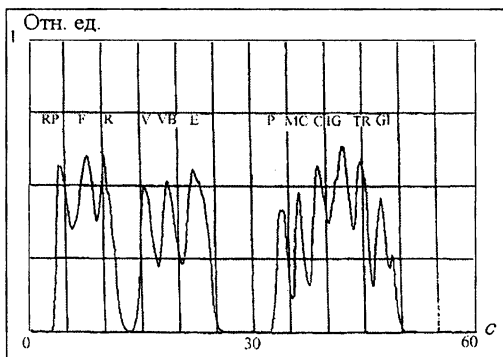


Рис. 35. Максимумы проводимости 12-ти меридианов ноги и руки, зафиксированные на временной развертке при круговом движении зонда ниже коленного и локтевого суставов

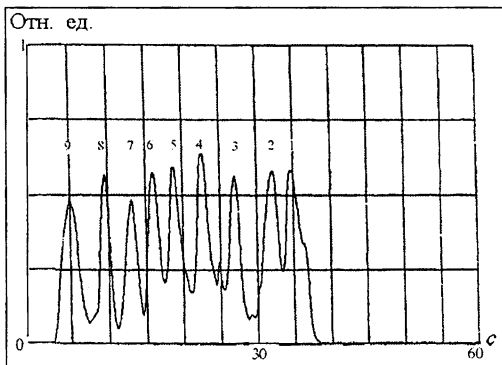


Рис. 36. Максимумы проводимости вокруг девяти акупунктурных точек вдоль меридиана перикарда (MC)

Максимум тока (проводимости) фиксируется именно там, где они указаны в классической акупунктуре. Такого рода профили поперечной проводимости хорошо воспроизводятся и фиксация 12 меридианов мало зависит от того, попадаем ли мы в ближнюю зону ТА или нет.

Тем не менее, если передвигать зонд вдоль меридианов, то для каждого из них существует своя структура проводимости, которая увеличивается в активных зонах вокруг ТА.

На рис. 36 даны графики проводимости вдоль меридиана перикарда МС.

При равномерном движении зонда зафиксировано девять ТА в полном соответствии с данными классической акупунктуры. График получен при «поперечном» подключении, когда внутренней стороной ладони сжимается большая площадь массивного электрода.

5.4. Аппаратура для облучения воды и водных растворов

Как уже упоминалось, при облучении миллиметровыми волнами веществ в различных фазовых состояниях ключевую роль играет вода или водные растворы. Активная роль воды в этих процессах обусловлена двумя, во всяком случае, физическими эффектами: 1) совпадением кванта энергии миллиметровых волн с вращательными уровнями энергии молекул воды; 2) существованием «биологической памяти воды», возникающей после воздействия на неё электромагнитных волн в этом диапазоне.

Первый эффект приводит к диссипации энергии электромагнитного излучения, приводящей к активации свойств воды в биохимических процессах.

Второй эффект обуславливает перекачку энергии волны в энергию возбуждённых молекул воды через сетку водородных связей, то есть к появлению молекулярных генераторов в миллиметровом диапазоне. В этом случае запасённая молекулами воды электромаг-

нитная энергия может дозированно переизлучаться в течение достаточно длительного времени, измеряемого часами или даже днями. Всё это послужило основанием для разработки различных устройств активации воды или водных растворов с целью придания воде свойств жидкого молекулярного генератора в миллиметровом диапазоне длин волн [198–200]. Иными словами, вода или водные растворы, подвергшиеся облучению ММ-волнами, проявляют отчётливую способность сохранять приобретенные лечебные свойства в течение достаточно длительного времени. Экспериментальным путём обнаружено, что вода или водные растворы как органических, так и неорганических соединений, подвергнутые облучению ММ-волнами, приобретают биологически активные свойства, сопоставимые по своему лечебному эффекту непосредственному воздействию на организм волнами ММ-диапазона. Рассмотрим несколько способов и устройств для придания воде или водным растворам таких свойств.

Для получения биологически активной жидкости

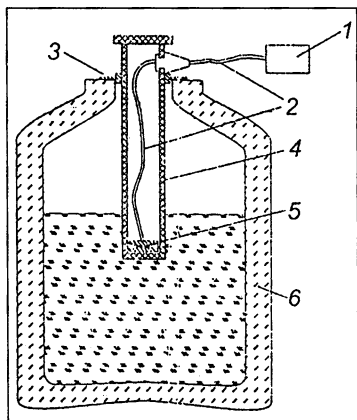


Рис. 37. Устройство для получения биологически активной воды

можно, например, в ёмкость погрузить облучающую антенну, как показано на рис. 37.

Основным элементом этого устройства, получившего название «Аквастим-КВЧ», является антенна оригинальной конструкции. Она представляет собой полую трубу 4 из материала слабо поглощающего КВЧ-излучение, например, медицинского полиамида или фторопласта. Внутри трубы размещаются три миниатюрные антенны (5).

тюрных генератора КВЧ излучения 5 с проводами питания генераторов 2. Фиксация трубы 4 в ёмкости 6 с облучаемой жидкостью осуществляется с помощью прижимного винта 3 с опорными штырями (на рисунке не показаны). Генераторы настроены на основные «медицинские» длины волн 4,9; 5,6 и 7,1 мм и могут работать поочерёдно. Антенна погружается в облучаемую жидкость, которая находится в стеклянной ёмкости 6. Управление работой генераторов осуществляется блоком управления 1 (источник питания). Данное устройство снабжено также таймером и индикатором КВЧ излучения (на рисунке не показаны). Опытным путём установлено, что при объёме жидкости, равном 2-2,5 л, оптимальная продолжительность облучения составляет 30-45 мин. При этом на выходе антенны мощность КВЧ-излучения должна составлять примерно 5 мВт. Облучению можно подвергать дисциплированную или минеральную воду, растворы минеральных солей, чай и т.д.

Испытание этого устройства в клинических условиях показало его высокую эффективность при лечении, в частности, хронического бронхита и гипертонической болезни.

Устройство типа «Аквастим-КВЧ» может быть использовано также для облучения различной флоры и фауны, обитающих в водной среде. Пример такого устройства показан на рис. 38.

Это устройство выполнено в виде радиоуправляемого «поплав-

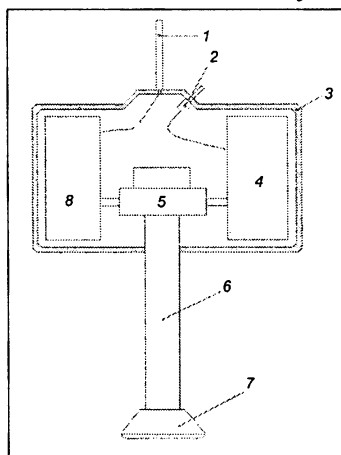


Рис. 38. Устройство для активации воды

ка», содержащего генератор миллиметровых волн, антенна которого погружена в воду. Само устройство представляет собой плавающую на воде платформу 3 из лёгкого и водостойкого диэлектрического материала. Внутри платформы размещается блок питания и управления 4, а также радиуправляемый блок дистанционного управления 8, содержащий элементы регулирования напряжения, модуляции, таймер и звуковой индикатор. Радиосигналы на эти блоки принимаются антеннами 1 и 2. Генератор миллиметровых волн 5 выполнен, естественно, на полупроводниковых элементах (лавинно-пролётный диод, диод Ганна или полевой транзистор). Основным элементом устройства является антенна оригинальной конструкции 7, электромагнитная волна к которой подводится через круглый волновод 6. Антенна формирует тороидальную диаграмму направленности.

Устройство может быть использовано для повышения жизнеспособности различных видов флоры и фауны, обитающих в водной среде, в частности, для увеличения поголовья рыб и урожайности элитных водорослей, выращиваемых для получения пищевых добавок (например, сине-зелёной водоросли спирулины) или фармакологических препаратов.

5.5. Представление о будущем развитии КВЧ-аппаратуры

Совершенствование производства микросхем ММ-диапазона с использованием микрополосковой технологии позволяет предполагать, что в ближайшее время появятся микросхемы, позволяющие совмещать в одной головке два генератора, например на 5,6 и 7,1 мм.

Нам кажется, что в будущем наблюдающееся уже сейчас разделение КВЧ-аппаратуры на два различных направления: портативные приборы для домашнего лечения и лечебно-диагностические клинические комплексы проявится еще больше.

Решающим шагом на пути превращения КВЧ-головки в широко распространенный семейный прибор станет замена используемых сейчас в генераторах диодов Ганна и ЛПД на транзисторы. Разрабатываемые в настоящее время транзисторы ММ-диапазона будут иметь большее КПД и стоить дешевле. Первое обстоятельство позволит уменьшить массу головки до нескольких граммов и полностью перейти на аккумуляторное питание. Второе – естественно приведет к общему снижению стоимости таких аппаратов.

Кроме того, наличие дешевых и доступных КВЧ-приборов позволит рекомендовать для достаточно широкого круга людей профилактическое КВЧ-облучение с целью биологической стимуляции жизнедеятельности организма в целом, активации процессов обмена и повышения иммунного статуса, лечение ряда несложных болезней в домашних условиях.

В других случаях, при более серьезных заболеваниях врач обследует пациента с использованием лечебно-диагностической аппаратуры, возможно будет индивидуально подбирать для него оптимальную частоту, мощность и режим облучения, зоны и точки воздействия, следить с помощью компьютера за реакцией организма на облучение. Очень важным шагом вперед для КВЧ-аппаратов такого типа явится использование обратной биологической связи, т.е. корректировка параметров облучения по реакции организма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги более чем 40-летних исследований биологических эффектов низкоинтенсивных ММ-волн, можно отметить следующее. Как это часто бывает, прикладные исследования и использование на практике отдельных фундаментальных достижений опережают понимание в деталях физических механизмов изучаемых эффектов. В полной мере это относится к миллиметровой электромагнитобиологии [201].

Наибольшее практическое достижение в нашей области отмечается в медицине: состоялась миллиметровая или крайне высокочастотная терапия как безлекарственный альтернативный метод лечения различных заболеваний человека при использовании электромагнитных колебаний низкой интенсивности.

По распространённости в медицинской практике методов лечения с использованием низкоинтенсивных электромагнитных волн миллиметровая терапия уступает, пожалуй, только лазерной терапии. По мнению авторов настоящей монографии, этот факт в значительной степени можно объяснить чисто психологическими факторами – и пациентам и врачам в процессе лечения с помощью лазеров (в видимом диапазоне длин волн) эстетическое удовольствие доставляют чистые и сочные цвета излучения, присущие когерентному световому потоку. Магически действует также как сочетание слов «лазерное излучение», так и вполне оправданное и заслуженное обсуждение в научной литературе и средствах массовой информации всего того, что было связано с открытием и использованием на практике в различных областях деятельности человека этого великого достижения нашей цивилизации. Что касается миллиметровых волн, то и в этой области знаний также есть немало того, чем

может гордиться отечественная и мировая наука. Но, к сожалению, глаз человека не «видит» миллиметровые волны и, таким образом, отсутствует способность мозга человека «окрашивать» эти волны в какие-либо цвета, то есть нет эмоционального «лазерного» восприятия электромагнитного излучения. Однако есть два фактора, которые определяют нас как адептов миллиметровых волн: 1) нам кажется, что миллиметровые волны «роднее» живой клетке и играют в информационном обеспечении жизнедеятельности клетки большую роль, чем волны в оптическом диапазоне; 2) что касается понимания интимных механизмов взаимодействия этих волн с живой клеткой, то, по мнению ряда известных специалистов в области лазеротерапии, «школа Девяткова» дальше продвинулась в понимании этих механизмов. Во всяком случае, по мнению медицинских специалистов терапевтическая эффективность миллиметровых волн не уступает эффективности волн оптического диапазона. Важно отметить также, что при лечении ряда заболеваний сочетанное использование миллиметровых и оптических волн оказывается более эффективным, чем использование этих волн порознь.

Возможности использования низкоинтенсивных миллиметровых волн в области медицины и биологии далеко не исчерпаны. Намечаются перспективные пути использования ММ-излучений в биотехнологии, животноводстве и растениеводстве, в технологии получения биологически активных жидкостей, экологии окружающей среды и др.

Технический прогресс к сожалению, приводит, к ухудшению состояния окружающей среды, прежде всего, воздушной среды и почвы. Окружающая среда становится опасной для человека Основными источниками загрязнения являются вредные выбросы в атмосферу токсических веществ промышленными предприятиями и транспортными средствами, природные и техногенные катастрофы и др. В последние годы в различных промышленно развитых странах

активно изучаются и электромагнитные поля как источник канцерогенеза (радиолокационные станции, бытовое электрооборудование, высоковольтные линии электропередачи и т.д.).

Для решения ряда экологических задач заслуживает внимания использование потенциальных возможностей низкоинтенсивного ММ-излучения.

В этом смысле большое научное и практическое значение имеют работы биологов МГУ им. М.В. Ломоносова, которые показали, что ММ-волны могут в значительной степени скомпенсировать отрицательное влияние атомов тяжёлых металлов на жизнедеятельность различных водорослей, а также работы ряда исследователей, изучающих реабилитирующий и протекторный эффекты ММ-волн при воздействии на человека ионизирующего излучения и неблагоприятного действия электромагнитных полей других диапазонов.

Большие надежды мы связываем с углублением знаний в области понимания интимных механизмов воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на живые структуры и их роли в информационном обеспечении жизнедеятельности живой клетки. Имеется немало косвенных данных, свидетельствующих о том, что волны миллиметрового диапазона сыграли существенную роль в эволюции живой материи на нашей планете. Очень интригующими и впечатляющими являются фантастические (пока) высказывания ряда специалистов о том, что волны в миллиметровом диапазоне могли играть значительную роль в эволюции Вселенной. В этой связи далеко не исчерпан вопрос о роли воды в различных фазовых состояниях.

Отметим ещё раз, что в миллиметровой электромагнитобиологии наибольший научный и практический интерес представляют эффекты слабых, низкоинтенсивных электромагнитных волн. Изучение физико-химических механизмов взаимодействия слабых элек-

ромагнитных полей с биологическими структурами является одной из фундаментальных проблем современного естествознания. Достижения в этом направлении позволят не только определить границы между конденсированной (материальной) и полевой формами существования материи, но и сформулировать основы энерго-информационных процессов в природе. В практическом плане можно будет ожидать появления принципиально новых видов технологий во всех сферах человеческой деятельности. Можно ожидать также, что появится возможность объяснить большое количество эффектов, которые в настоящее время относят к аномальным, неопознанным и т.д.

Этот раздел хочется завершить словами М. Планка, вынесенными эпиграфом к монографии: «Всё есть только колебания и их воздействие. Фактически никакой материи нет вообще. Всё и каждое образовано из колебаний». Подводя итогу 30-летних изучения биологических эффектов низкоинтенсивных ММ-волн, можно констатировать следующее. Как это часто бывает, прикладные исследования и внедрение опережает фундаментальные разработки. Широкое использование ММ-излучений в медицине, биотехнологии, животноводстве и растениеводстве шагнуло далеко вперед. На сегодняшний день в России выпущено более 10 000 аппаратов ММ-терапии; подготовлено несколько тысяч врачей, специалистов по ММ-терапии; функционирует более 2 500 кабинетов ММ-терапии; пролечено более 2 500 000 больных; выпущено (с 1992 г.) 34 номера научного журнала «Миллиметровые волны в биологии и медицине»; проведено 13 симпозиумов «Миллиметровые волны в биологии и медицине» и 14 рабочих совещаний врачей; опубликовано 15 томов материалов совещаний и симпозиумов; 5 монографий; 3 научно-популярных брошюры; более 3 600 статей; получено 22 патента РФ и Государственная премия РФ в области науки и техники за 2000 г.

Однако ученые – биофизики, физиологи, врачи – продолжают научный поиск, исследуя механизмы биологических эффектов, и приближаются к все более полному пониманию роли низкоинтенсивных ММ-излучений в процессах жизнедеятельности биологических систем различного уровня организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968, 287с.
2. Пресман А.С. Организация биосферы и ее космические связи. – М.: ГЕО-СИНТЕГ, 1997, 239 с.
3. Адаменко В.Г., Виленская Р.А., Голант М.Б. и др. Влияние миллиметровых волн на микрофлору помещений. – Электронная техника, серия 1. Электроника СВЧ, 1966, вып.12, с.132–136.
4. Научная сессия отделения общей физики и астрономии АН СССР (17–18 января 1973 г.). – Успехи физических наук, 1973, т. 110, вып. 3.
5. Голант М. Б., Виленская Р. А., Зюлина Е. А. Серия широкополосных генераторов малой мощности ММ и СБММ-диапазона. – ПТЭ, 1965, №4, с. 136–139.
6. Лампы обратной волны миллиметрового и субмиллиметрового диапазона (под редакцией академика Н. Д. Девяткова). – М.: Радио и связь, 1985, 135с.
7. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991, с.168.
8. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Особенности медико-биологического применения миллиметровых волн. – М.: ИРЭ РАН, 1994.
9. Гаркави А.Х., Квакина Е.Б., Уколова. Адаптационные реакции и резистентность организма. – Ростов-на-Дону, изд-во Ростовского университета, 1990.
10. Селье Г. Очерки об адапционном синдроме. – М.: Медицина, 1960.
11. Fröhlich H. Bose condensation of strongly excited longitudinal electric modes. Phys. Lett 1968; 26 A: 402.
12. Fröhlich H., Kremer F. Coherent Excitations in Biological systems Springer-verlag, 1983.
13. Fröhlich Herbert (Ed). Biological Coherence and Responct to External Stimuli Springer Verlag, 1988.
14. Пригожин И. Время, структура и флуктуации. – М.: Мир, 1974.
15. Бурлакова Е.Б. Эффект сверхмалых доз. – Вестник Российской АН, т. 64, №5, 1994, с.425–431.

16. Чукова Ю.П. Эффекты слабых воздействий. – М.: Изд-во ООО «Компания «Алес», 2000, 427 с.
17. Бецкий О.В., Котровская Т.И., Лебедева Н.Н. Новые применения миллиметровых волн в медицине и биологии. – Радиотехника, 2002, №2, с.5–15.
18. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ (под редакцией Н.Д. Девяткова). – М.: Высшая школа, 1970, 440 с.
19. Бецкий О. В. Миллиметровые волны в биологии и медицине. – Радиотехника и электроника, 1993, т. 38, № 10, с. 1760–1782.
20. Чижевский А.А. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1973.
21. Поляков В.М., Бецкий О.В. Излучение миллиметровых волн Солнцем. – Тезисы докл. 13 Всероссийского симпозиума с международ.участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», М., 1–3 декабря 2003 г., с.149–151.
22. Бецкий О.В., Кислов В.В., Девятков Н.Д. «Миллиметровые волны низкой интенсивности в медицине и биологии». – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 4, с.13–29.
23. Бецкий О. В. О чувствительности живых организмов к сверхслабым плотностям мощности электромагнитной волны в КВЧ-диапазоне. – Российская конференция с международным участием «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования», 28–29 ноября 1996, Москва (сб. докладов), с.28.
24. Бецкий О.В., Котровская Т.И., Лебедева Н.Н. Стохастический резонанс и проблема воздействия слабых сигналов на биологические системы. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002, №3 (27), с. 3–11.
25. Машанский В.Ф. и др. Топография щелевых контактов в коже человека и их возможная роль в безнервной передаче информации. – Архив анатомии, гистологии и эмбриологии, 1983, т. 84, №3, с. 53–59.
26. Цейтлин М.Б., Фурсаев М.А., Бецкий О.В. Сверхвысоко-частотные усилители со скрещенными полями. – М.: Сов. радио. 1978, 280 с.
27. Синицын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.А., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Бецкий О.В. Особая роль системы «миллиметровые волны – водная среда» в природе. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 1, с. 6–23.

28. Давыдов А.С. Солитоны в молекулярных системах. – Киев: Наукова думка, 1984, 288 с.
29. Беуцкий О.В., Путвинский А.В. Биологические эффекты миллиметрового излучения низкой интенсивности. – Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1986.
30. Беуцкий О. В. Вода и электромагнитные волны. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 2, с.3–6.
31. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка. – УФН, 1999, т. 169, 1, с. 7–47.
32. Брискин Б.С., Букатко В.Н., Родштат И.В., Панченков Н.Р., Котов В.Д. Сравнительный анализ динамики коагулогических показателей при воздействии различных миллиметровых волн у больных острым деструктивным панкреатитом. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, №5–6, с. 3–8.
33. Беуцкий О. В., Беляков С. В., Яременко Ю.Г. Состояние и тенденции развития аппаратуры для КВЧ-терапии. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 3. с.50–56.
34. Яшин А.А. Модели энергетических процессов в клетках организма при КВЧ-облучении, использующие эффект стохастического резонанса. – Вестник новых медицинских технологий, 1999, №2, с. 18–24.
35. Гапеев А.Б. Особенности действия модулированного излучения крайне высоких частот на клетки животных: Дис....канд. физ-мат. наук. – Пущино, Институт биофизики клетки РАН. 1997, 111 с.
36. Петросян В.И, Синицын Н.И., Ёлкин В.А. Люминесцентная трактовка “СПЕ-эффекта”. –Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, №1, 2002, с. 28–40.
37. Пономарёв В.О., Карнаухов А.В. Диссипативный резонанс. Аналитическое решение с неподвижными границами. – Биофизика, 2002, т. 47, вып. 5, с. 825–832.
38. Mandelbrot B. B. The fractal geometry of nature. San Francisco, Freeman,
39. Урицкий В.М., Музалевская Н.И. Фрактальные структуры и процессы в биологии (обзор). В сборнике “The biomedical informatics and eniology”. – СПб.: Изд. дом “Ольга”, 1995, с.85–129.
40. Беуцкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Фракталы в биологии и медицине. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, №10–11, с. 49–50.

41. Ляхно В.Д. Кластеры в физике, химии, биологии. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 256 с.
42. Дерпгольц В.Ф. Мир воды. – Л.: «Недра», 1979, 253 с.
43. Зацепина Г.Н. Свойства и структура воды. – Изд. МГУ, 1974, 166 с.
44. Петросян В.И., Житенева Э.А., Гуляев Ю.В. и др. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона. – Радиотехника и электроника. 1995, т. 40, вып. 1, с.127–134.
45. Петросян В. И., Синицын Н. И., Ёлкин В. А. и др. Роль резонансных молекулярно-волновых процессов в природе и их использование для контроля и коррекции состояния экологических систем. – Биомедицинская радиоэлектроника, №5–6, 2001, с. 62–129.
46. Бенуэлл А. Основы молекулярной спектроскопии. – М., Мир, 1976, 384 с.
47. Петросян В.И., Синицын Н.И., Ёлкин В.А., Тупикин В.Д., Майбородин А.В., Надёжкин Ю.М.. Проблемы косвенного и прямого наблюдения резонансной прозрачности водных сред в миллиметровом диапазоне. – Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, №1, с. 34–40.
48. Девятков Н.Д., Кислов В.Я., Кислов В.В. и др. Обнаружение эффекта нормализации функционального состояния внутренних органов человека под воздействием активированной миллиметровым излучением воды. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1996, № 8, с.65–68.
49. Fesenko E. E., Geletyuk V.I., Kasachenko V.N., Chemeris N.K. Preliminary microwave irradiation of water solution changes their channel-modifying activity. - FEBS Letters , 1995, vol. 366, pp. 49–52.
50. Гапочка А.Д., Гапочка М.Г., Королёв А.Ф. и др. Воздействие электромагнитного излучения КВЧ- и СВЧ-диапазона на жидкую воду. – Вестник МГУ. Сер. Физика, Астрономия, 1994, т. 35, №4.
51. Волченко В.Н., Колбун Н.Д., Лобарев В.Е. Информационные ЭМ-взаимодействия оператора и биообъектов в ММ-диапазоне длин волн. – В сб. «Миллиметровые волны в медицине» (под редакцией академика Н.Д. Девяткова). – М., ИРЭ АН СССР, 1989, с. 115.

52. Агеев И.М., Шишкин Г.Г. Изменение электрической проводимости воды при её нагревании различными типами источников тепла, включая биообъекты.
53. Физика микроволн (Сборник отчётов по научным проектам МНТП России «Физика микроволн»). – Нижний Новгород, Институт прикладной физики РАН, 2000, 156 с.
54. Мериакри В. В., Аплеталин В.Н., Копнин А. Н. и др. Субмиллиметровая лучеводная спектроскопия и её применение. – Проблемы современной радиотехники и электроники, 1980, с. 164–191.
55. Кудряшова В.А., Завизион В.А., Бецкий О.В. Особенности взаимодействия КВЧ-излучения с водой и водными растворами. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, №2, с. 23–29.
56. Khurgin Yu. I., Kudryashova V. A., Zavizion V. A., Betskii O. V. Millimeter Absorption Spectroscopy of Aqueous Systems. – Relaxation Phenomena in Condensed Matter (Ed.-W.Coffey) – Advances in Chemical Physics. Vol. LXXXVII, 1994, pp. 483–543. John Wiley and Sons Inc. N.Y., Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
57. Смолянская А.З., Виленская Р.Л. О характере воздействия ММ-излучения на индукцию синтеза колицина. – Биологические науки, 1972.
58. Смолянская А.З., Виленская Р.Л. Действие электромагнитного излучения ММ диапазона на функциональную активность некоторых генетических элементов бактериальных клеток. – УФН, 1973, т. 110, с. 458.
59. Киселёв Р.И., Залобовская Н.И. Воздействие электромагнитных волн ММ-диапазона на клетку и некоторые структурные элементы клетки. – УФН, 1973, т. 110, с. 464.
60. Бецкий О.В., Кислов В.В. Волны и клетки. – М.: Знание. Сер. Физика, 1990, №2, 63 с.
61. Реброва Т.Б. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на жизнедеятельность микроорганизмов. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1992, №1, с. 37–447.
62. Андреев В.С., Печорина Т.А. Влияние излучения КВЧ-диапазона нетепловой интенсивности на наследственность микроорганизмов. – Международный симпозиум «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине» (сборник докладов). – М.: ИРЭ АН СССР, 1991, часть 2, с. 483–486.

63. Божанова А.К., Брюхова А.К., Голант М.Б. и др. Одно из возможных средств создания диагностической аппаратуры. – Электронная техника. Сер. 1, «Электроника СВЧ», 1987, № 1, с. 35.
64. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лукьянов А.А. Применение активных частот электромагнитного излучения миллиметрового и сантиметрового диапазона в микробиологии. – Научно-технические технологии, №1, 2002, с.34–53.
65. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы. – М.: Радиотехника, 2003, 175 с.
66. Катаев А.А., Александров А. А., Тихонова Л.И., Берестовский Г.Н. Частотнозависимое влияние миллиметровых волн на ионные токи водоросли *Nitellopsis*. Нетепловые эффекты. – Биофизика, т.38, вып.3, 1993, с. 446–462.
67. Gründler W., Keilmann F. Nonthermal effects of millimeter microwave on yeast grows. – Z. Naturforsch, 1978, vol.15, p. 33.
68. Kaiser F. Theory of Non-Linear Excitation In Biologic Effects and Response to External Stimuli. (Ed. Herbert Fröhlich). – The Digest of Papers. Springer Verlag, New York-Berlin-Heidelberg, 1988, p. 25–48.
69. Berteand A., Dardelhon M., Rebeyrotte N., Averbek D. Action d' un rayonnement electromagnetique a onde millimetrique sur le croissance bacterienne C. R. – Acad. Sci., Paris 1975, vol. 281 D, p. 843.
70. Motzkin S., Benes L., Block N. et al. Effects of low-level millimeter wave on Cellular and Subcellular Systems. In :Coherent Excitation in Biological Systems, 1983, p. 83.
71. Gandhi O., Hill O., Riazzi J. et al. Effects of millimeter wave irradiation - Final report USA FSAM TR-82-49, Brooks air Force Base .Tex., 1982, p. 12.
72. Севастьянова Л.А., Потапов С. Л., Адаменко В.Г. и др. Комбинированное воздействие рентгеновского и сверхвысокочастотного излучения на костный мозг. – Научн. докл. высш. школы. Сер. Биофиз. биол. науки, 1969, №6, с.46.
73. Севастьянова Л.А., Потапов С. Л., Адаменко В.Г. Изменение гемопоза под влиянием сверхвысокочастотного и рентгеновского излучения. – Морфологические и гематологические аспекты. – Доклады 5 конференции ЦНИЛ, Томск, 1970.

74. *Севастьянова Л.А.* Биологические действия радиоволн миллиметрового диапазона на нормальные ткани и злокачественные образования. – В сборнике “Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты ” (под ред. *Н.Д. Девяткова*). – М.: ИРЭ АН СССР, 1983, с. 48–62.
75. *Соболева Е.И., Игнашева Л.П.* Выживаемость летально облучённых животных при трансплантации криоконсервированного костного мозга, подвергнутого КВЧ-воздействию. – Сб. докладов Международного симпозиума “Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине”, 3–6 октября 1991, Москва, часть 2, с. 252–354.
76. *Говалло В.И., Барер Ф.С., Волчек И.А.* и др. Продукция ЭМИ-облучёнными лимфоцитами и фибробластами человека фактора, активирующего пролиферацию клеток. – Сб. докладов Международного симпозиума “ Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине” 3–6 октября. 1991, с. 340–344.
77. *Рыжова Л.В., Старик А.М., Волгарёв А.П.* и др. Защитный эффект низкоинтенсивного миллиметрового излучения при летальной гриппозной инфекции. – Сб. докладов Международного симпозиума “Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине”, 3–6 октября 1991, Москва, часть 2, с.371–377.
78. *Адаскевич В.Г.* Эффективность применения электромагнитного миллиметрового излучения в комплексном лечении больных атопическим дерматитом. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1994, №3, с. 78–81.
79. *Гедымин Л.Е., Ерохин В.В., Бугрова К.М.* и др. Электромагнитные волны миллиметрового диапазона в терапии саркоидоза лёгких и внутригрудных лимфатических узлов. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1995, №6, с. 30–38.
80. *Лебедева Н.Н.* Реакции центральной нервной системы человека на электромагнитные поля с различными биотропными параметрами. Автореферат дисс. ... доктора биологических наук. – М.: Ин-т ВНД и НФ РАН, 1992.
81. *Лебедева Н.Н., Сулимов А.В.* Сенсорная индикация электромагнитных полей миллиметрового диапазона. – Миллиметровые волны в биологии и медицине. – М.: ИРЭ РАН, 1989, с. 176–182.

82. Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н. Реакции нервной системы человека на электромагнитные поля. – М: Наука, 1992.
83. Лебедева Н.Н. Сенсорные и субсенсорные реакции здорового человека на периферическое воздействие низкоинтенсивных ММ-волн. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1993, №2, с. 5–24.
84. Котровская Т.И. Сенсорные реакции человека при действии слабого электромагнитного стимула. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1996, №3, с.32–38.
85. Темуриянц Н.А., Чуян Е.Н., Туманянц Е.Н. и др. Зависимость антистрессорного действия ЭМИ миллиметрового диапазона от локализации воздействия у крыс с различными типологическими особенностями. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1993, №2, с. 51–58.
86. Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Экспериментально-клинические исследования в области биологических эффектов миллиметровых волн. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, №1(29), с. 20–43.
87. Девятков Н.Д., Чернов З.С., Беуцкий О.В., Новскова Т.А., Путвинский А.В. Нетепловое воздействие СВЧ импульсов наносекундной длительности на трансэпителиальный перенос ионов натрия. – Биофизика, 1982, т.28, вып.3 с. 559–560.
88. Файкин В.В., Кабисов Р.К., Беуцкий О.В. Наносекундные СВЧ- и КВЧ-импульсы с большой пиковой мощностью; экспериментальное исследование и перспективы использования в онкологии. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, №8, 2003, с.69–75.
89. Говалло В.И., Саркисян А.Г., Ефимцева Н.И. и др. Влияние КВЧ-терапии на показатели Т-лимфоцитов и ЕК-клеток при вторичном иммунодефиците. – В сборнике статей «Миллиметровые волны в медицине» (под редакцией академика Н.Д. Девяткова). – М.: ИРЭ РАН, 1981, с.182–186.
90. Петров И.Ю., Беуцкий О.В. Изменение потенциала плазматических мембран клеток зелёного листа при электромагнитном миллиметровом облучении. – ДАН СССР, 1989, т. 305, №2, с. 474–476.
91. Бержанская Л.Ю., Белоплотова О.Ю., Бержанский В.Н. Действие электромагнитного излучения на высшие растения. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1993, №2. с. 68–72.

92. Петров И.Ю., Морозова Э.В., Моисеева Т.В. Стимуляция процессов жизнедеятельности в растениях микроволновым облучением. – В сб. докладов «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине и биологии». – М.: ИРЭ РАН, 1991. т.2, с. 502–504.
93. Бецкий О.В., Казаринов К.Д., Путвинский А.В., Шаров В.С. Способ измерения мощности СВЧ. – Авторское свидетельство №1101750. – Бюллетень открытий и изобретений, 1984, №25, с.120.
94. Чернавский Д. С., Карп В.П., Родштат И.В. Нейрокомпьютинг и реальные нейросети спинального и церебрального уровней. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1999, №2, с.27–32.
95. Ильина С.А., Бакаушина Г.Ф., Гайдук В. И. и др. О возможной роли воды в передаче воздействия излучения ММ-диапазона на биообъекты. – Биофизика, 1979, т. 24, вып.3, с.513–518.
96. Khizhnyak E.P. and Ziskin M.C. Temperature Oscillations in Liquid Media Caused by Continuous (Nonmodulated) Millimeter Wavelength Electromagnetic Irradiation. – Bioelectromagnetics, 1996, vol.17, pp. 223–229.
97. Чернавский Д.С. Механизм пунктурной терапии. – В сборнике статей «Избранные вопросы КВЧ-терапии в клинической практике». – Информационный сборник (МО СССР), 1991, №4, вып. 61, с.46–65.
98. Креницкий А.П., Майбородин А.В., Бецкий О.В., Тупикин В.Д., Киричук В.Ф., Трошин О.Ф. Квазиоптический КВЧ-генератор молекулярных спектров излучения атмосферных газов для исследования физических и биологических сред. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, №12, с.17–26.
99. Девятков Н.Д., Бецкий О.В. Особенности взаимодействия миллиметрового излучения низкой интенсивности с биологическими объектами. – Сб. статей «Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине». – М.: ИРЭ АН СССР, 1985, с. 6–21.
100. Khizhnyak Ye. P., Betskii O. V., Voronkov V. N., Yaremenko Y. G. Role of spatial distribution of electromagnetic radiation absorption in formation of biological effects and morphological changes in skin during microwave radiation. – Biological aspects of low intensity millimeter waves

- (*N.D.Deviatkov, O.V.Betskii Eds.*), Seven Plus, Moscow, 1994 с. 250–261.
101. *Коренева Л.Г., Гайдук В. И.* О принципиальной возможности резонансного воздействия сверхвысокочастотных колебаний на гемоглобин. – ДАН, 1970, т. 193, с. 463–468.
 102. *Лебедева Н.Н.* Нейрофизиологические механизмы биологического действия низкоинтенсивных электромагнитных полей. – Радиотехника, 1997, №4. С.62–66
 103. *Лебедева Н.Н.* Реакции центральной нервной системы человека на электромагнитные поля с различными биотропными параметрами. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998. №1, с.24–36
 104. *Lebedeva N.N. and Kotrouskaya T.I.* Electromagnetic Perception and Individual Features of Human Being. – Critical Reviews in Biomedical Engineering, 2001, 29(3), pp. 440–449.
 105. *Лебедева Н.Н., Сулимова О.П.* Модифицирующее действие ММ-волн на функциональное состояние ЦНС человека при моделировании стресса. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1994, № 3, с.16–21.
 106. *Лебедева Н.Н.* Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивным электромагнитных волн ММ-диапазона. – Миллиметровые волны в медицине и биологии. 11 Российский симпозиум с международным участием, 21–24 апреля 1997 г., Москва, с.126–128.
 107. *Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А., Московчук О.Б.* и др. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ. – Симферополь, Издательский центр КГМУ, 2003, 447с.
 108. *Гуревич М.Е.* Реакция лимфатических узлов мышц на СВЧ-излучение ММ-диапазона в зависимости от места воздействия и исходного состояния животных. Автореф. дис... канд. мед. наук. – Томск, 1987.
 109. *Севастьянова Л.А.* Действие электромагнитных волн миллиметрового диапазона на кроветворную систему и перевивные опухоли. – Автореф ... дисс. докт. биол. наук, Москва, 1985
 110. *Гаркави А.Х., Квакина Е.Б., Кузьменко Т.С.* Антистрессорные реакции и активационная терапия. – М.: Изд-во «Имедис», 1998., 617 с.
 111. *Люсов В.А., Лебедева А.Ю., Щелкунова И.Г.* Коррекция гемореологических нарушений у больных нестабильной стенокардией методом ММ-терапии. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1995, №5.

112. Люсов В.А., Лебедева А.Ю., Щелкунова И.Г. Некоторые механизмы влияния миллиметрового излучения на патогенез нестабильной стенокардии. – В сб. "Миллиметровые волны в биологии и медицине", X Всероссийский Симпозиум, Москва, 1995.
113. Люсов В.А., Лебедева А.Ю., Федулаев Ю.Н. Использование комбинированной инфракрасной лазерной и миллиметровой терапии у амбулаторных больных со стенокардией напряжения II ФК. – Материалы V Всероссийского Съезда кардиологов, Челябинск, 1996.
114. Люсов В.А., Лебедева А.Ю. Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в комплексном лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы. – Сб. докл. XI Российского симпозиума с международным участием "Миллиметровые волны в биологии и медицине", Москва, 1997.
115. Лебедева А.Ю. Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона в комплексном лечении сердечно-сосудистых заболеваний. – Биомедицинская радиоэлектроника, №1, 1998
116. Лебедева А.Ю. Итоги и перспективы применения миллиметровых волн в кардиологии. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002, №1, с.21–24.
117. Шайдюк О.Ю., Гордеев И.Г., Лебедева А.Ю. КВЧ-терапия в лечении стенокардии напряжения с эпизодами безболевой ишемии миокарда. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002, №1, с.24–39.
118. Смирнова М.Ю., Блохина Т.Б., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. Динамика показателей калликреин-кининовой системы у больных инфарктом миокарда на фоне терапии ЭМИ ММД. – 13 Российский симпозиум с международ. участием « Миллиметровые волны в медицине и биологии», Москва, 1–3 декабря 2003 г., с.69.
119. Смирнова М.Ю., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. Коррекция нарушений в системе гемостаза у больных инфарктом миокарда на фоне терапии ЭМИ ММД. – 13 Российский симпозиум с международ. участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», Москва, 1–3 декабря 2003 г., с.71.
120. Смирнова М.Ю., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. Состояние микроциркуляторного русла у больных инфарктом миокарда на фоне терапии ЭМИ ММД. – 13 Российский симпозиум с международ. участием «Миллиметровые вол-

- ны в медицине и биологии», Москва, 1–3 декабря 2003 г., с.72.
121. Лопатина М.А., Головачева Т.В., Паршина С.С., Киричук В.Ф., Афанасьева Т.Н., Медведева М.А. Влияние ЭМИ ММД на показатели антикоагулянтной защиты у больных с различными классами нестабильной стенокардии. – 13 Российский симпозиум с международным участием « Миллиметровые волны в медицине и биологии», Москва, 1-3 декабря 2003 г., с.14–17.
122. Щелкунова И.Г., Матренина И.В., Лебедева А.Ю. ММ-терапия некоронарогенных поражений миокарда. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, №1, с.51–58.
123. Плетнев С.Д. Использование ММ-излучения в онкологии. – Медико-биологические проблемы ММ-волн. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987.
124. Pletnev S.D. The Use of Millimeter Band Electromagnetic Waves in Clinical Oncology. – Critical Reviews in Biomedical Engineering, 2000, 29(2), pp. 573–588.
125. Плетнев С.Д. Применение электромагнитного излучения миллиметрового диапазона при лечении онкологических больных. – В сб.: Миллиметровые волны в медицине. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991, с.76–81.
126. Кабисов Р.К. Миллиметровые волны в онкологии: реальность, проблемы, перспективы. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1992, №1, с.55–61.
127. Кабисов Р.К. Миллиметровые волны в системе реабилитации онкологических больных. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, №1, с.48–55.
128. Теппоне М.В., Авакян Р.С. Крайневысокочастотная (КВЧ) терапия в онкологии. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, №1, с.3–19.
129. Каменев Ю.Ф., Шапошников Ю.Г., Мусса М., Акимов Г.В. Физические факторы в комплексном хирургическом лечении минно-взрывной травмы конечностей. – Актуальные вопросы военной медицины, Кабул, 1988, с. 78–80.
130. Каменев Ю.Ф., Саркисян А.Г., Говалло В.И. К проблеме оптимизации лечебного действия ММ-излучения низкой интенсивности при осложненных раневой инфекцией повреждениях конечностей. – Мат. 7-го Всесоюзного семинара “Применение ММ-излучения низкой интенсивности в биологии и медицине”. – М., 1989, с.17–18.

131. Каменев Ю.Ф., Девятков Н.Д., Топоров Ю.А. Активационная терапия ММ-излучением осложненных раневой инфекцией повреждений конечностей. – Мед. радиология, 1992, №7–8, с.43–45.
132. Каменев Ю.Ф., Берглезов М.А., Надгериев В.М. КВЧ-терапия трофических язв ампутационных культей конечностей. – Сб. статей “Восстановительное лечение повреждений и заболеваний конечностей”. – М., 1993, с.96–97.
133. Каменев Ю.Ф., Шитиков В.А., Батпенев Н.Д. Условия достижения длительной и стойкой ремиссии при разных типах течения деформирующего остеоартроза. – Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, 1997, №4, с.9–13.
134. Гедымин А.Е., Ерохин В.В., Бугрова К.М и др. Электромагнитные волны миллиметрового диапазона в терапии саркоидоза легких и внутригрудных лимфатических узлов. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1994, № 4, с.10–16.
135. Пославский М.В., Балакирева Л.З., Корочкин И.М. и др. Новый способ профилактики рецидива язвенной болезни. – Медико-биологические аспекты ММ-излучения. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987, с.35–41
136. Пославский М.В. Лечение язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки – Вопросы использования электромагнитных излучений малой мощности крайне высоких частот (миллиметровых волн) в медицине. – Ижевск: Удмуртия, 1991, с.102–133.
137. Букатко В.Н. Терапия осложненных гастродуоденальных язв. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002, №3, с.41–55.
138. Брискин Б.С., Ефанов О.И., Букатко В.Н. Дифференцированное применение миллиметровых волн на стационарном этапе лечения острого деструктивного панкреатита. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2002, №4, с.50–54.
139. Киричук В.Ф., Лепилин А.В., Апальков И.П., Гераськина Т.В. Применение КВЧ-терапии в лечении больных с генерализованным пародонтитом. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, №1, с.69–72.
140. Petrov I.Yu., Betskii O.V. Activation of the ATP-synthetase complexes in a plant cell induced by low intensity micro-

- waves – Proc. Int. Symp. On EMC, Nagoya, Japan, Sept. 8–10, 1989.
141. *Петров И.Ю., Морозова Э.В., Моисеева Т.В.* Стимуляция процессов жизнедеятельности в растениях микроволновым излучением. – В сб. докладов межд. симп «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине», 3–6 октября 1991 г., Москва, ч. 2, с.502–504
142. *Отурина И.П., Чмиль М.Н.* Воздействие электромагнитных излучений крайневых частот на процессы жизнедеятельности культурных растений. – В сб. докладов 11 Российского симпозиума с междунар.участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», 21–24 апреля 1997 г., Москва, с.222–223.
143. *Шестопалова Н.Г., Макаренко Б.И., Головина А.Н., Тимошенко Ю.П., Баева Т.И., Винокурова Л.В., Мирошниченко В.С.* Модификация синхронизирующего первые митозы эффекта радиоволн ММ-диапазона разными температурными режимами проращивания облученных семян. – В сб. докладов 10 Российского симпозиума с междунар. участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», 24–26 апреля 1995 г., Москва, с.236–237.
144. *Григорьев А.Д., Мейев В.А., Подорожная Е.А.* Воздействие электромагнитного поля диапазона КВЧ на посевные качества семян. – В сб. докладов 10 Российского симпозиума с междунар.участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», 24–26 апреля 1995 г., Москва, с.238–239.
145. *Балибалова Е.Н., Королев А.С., Реброва Т.Б., Карташова В.М., Демидова А.Д., Юрков В.М., Иноземцев В.П., Балковой И.И.* Применение электромагнитного излучения крайневых частотного диапазона длин волн (КВЧ-терапии) в ветеринарной практике. – В сб. докладов 10 Российского симпозиума с междунар.участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», 24–26 апреля 1995 г., Москва, с.232–235
146. *Иноземцев В.П., Балковой И.И., Лукьяновский В.А. и др.* Применение электромагнитных излучений крайне высоких частот в ветеринарной практике. – Ветеринария, 1993, №10, с.38–42
147. *Рыжкова Л.В., Сазонов А.Ю., Кавин В.И.* Миллиметровые волны в терапии спортивных лошадей. – В сб. докладов 11 Российского симпозиума с междунар. участи-

- ем «Миллиметровые волны в медицине и биологии», 21–24 апреля 1997 г., Москва, с.220–222.
148. Андреев А.В., Авдеенко К.В., Калюжный И.И. КВЧ-терапия телят, больных бронхопневмонией. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, 3(31), с.33–39
149. Сорокина Л.В., Авдеенко К.В., Калюжный И.И. КВЧ-терапия субклинического мастита у свиноматок. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, 3(31), с.40–46.
150. Авдеенко К.В., Пцелинцева Н. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на спермопродукцию баранов-производителей. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, 3(31), с.47–51.
151. Бабушкин В.А., Терентюк Г.С., Ключников А.Г. Коррекция гиповолемии у собак при тяжелых формах гестозов ЭМИ КВЧ-диапазона. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, 3(31), с.52–56
152. Бабушкин В.А., Терентюк Г.С., Ключников А.Г. Гормональные показатели при неосложненном и осложненном течении индуцированной беременности у собак. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2003, 3(31), с.57–60.
153. Складков Д.А. Что может биотехнология. Подписная научно-популярная серия «Знак вопроса». – М.: Знание, №12, 1990.
154. Голант М.Б., Брюхова А.К., Двадцатова Е.А., Ландау Н.С., Реброва Т.Б., Охохолина Г.М. Возможность регулирования жизнедеятельности микроорганизмов при воздействии на них электромагнитных колебаний ММ-диапазона. – Биофизика, 1986, т. 31, вып. 1, с 139–177.
155. Голант М.Б., Брюхова А.К., Двадцатова Е.А., Ландау Н.С., Реброва Т.Б., Охохолина Г.М. Возможность регулирования жизнедеятельности микроорганизмов при воздействии на них электромагнитных колебаний мм диапазона. – Биофизика, 1986, т. 31, вып. 1, с 139–177.
156. Голант М.Б., Брюхова А.К., Реброва Т.Б. Некоторые закономерности действия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на микроорганизмы. – Сб. докл. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. – М.: ИРЭ АН СССР, 1985, с. 157–161.

157. Егоров Н.С., Голант М.Б., Ландау Н.С., Охохонина Г.М., Сычева Н.А., Брюхова А.К. Влияние электромагнитных волн на образование протеаз с фибринолитическим действием у *Aspergillus oryzae* (Ahk/) Cohn. (штамм МГУ). – Микол. и фитопатол., 1977, т. 11, № 4.
158. Исаева В.С., Брюхова А.К., Голант М.Б., Колпакчи А.П., Раттель Н.Н., Реброва Т.Б. К изучению механизма воздействия электромагнитного излучения миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности (ЭМИ) на микроорганизмы. – Сб. докл. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. – М.: ИРЭ АН СССР, 1986, с. 28.
159. Беуцкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И. Электромагнитная биотехнология. – Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2002, №10-11, с. 42-48.
160. Брюхова А.К., Исаева В.С., Раттель Н.Н. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона (ЭМИ) на пивоваренные дрожжи. – Сб. докладов «Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения» (под редакцией академика Н.Д. Девяткова). – М.: ИРЭ АН СССР, 1987, с.110-115.
161. Брюхова А.К., Буяк Л.И., Зиновьева Н.А., Исаева В.С., Ландау Н.С., Раттель Н.Н. Некоторые особенности действия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона (ЭМИ) на микроорганизмы. – Сборник докладов: «Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения» (под редакцией академика Н.Д. Девяткова). – М.: ИРЭ АН СССР, с. 98-103.
162. Betskii O., Tambiev A., Kirikova N., Lebedeva N., Slavin V. Low intensity millimeter waves and their application in hi-tech technologies. – Scientific Israel, Technological Advantages, 2000, vol. 2, № 3-4.
163. Tambiev A.H., Kirikova N.N. The prospects of use of EHF radiation in photobiotechnology. – Biological aspects of low intensity millimeter waves. – М.: Seven plus, 1994.
164. Тамбиев А. Х., Лапшин О. М., Кирикова Н. Н., Беуцкий О. В., Гуляев Ю. В., Гусев М. В., Новскова Т. А., Нечаев В. М. Способ получения посевного материала микроводорослей. – А. с. № 1 741 917 с приоритетом от 1992 г.
165. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М., Беуцкий О.В., Новскова Т.А., Нечаев В.М., Петров И.Ю. Влияние комбинированного воздействия миллиметрового и санти-

- метрового электромагнитного излучения на продуктивность микроводорослей. – В сб. докладов «Миллиметровые волны в медицине и биологии» (под редакцией акад. *Н.Д. Девяткова*). – М.: ИРЭ РАН, 1989, с. 183–188.
166. *Петров И.Ю.* Изменения мембранных потенциалов растительной клетки, индуцированные низкоинтенсивным электромагнитным миллиметровым излучением. – В сб. докладов в двух томах «Миллиметровые волны в медицине» (под редакцией академика *Н.Д. Девяткова* и профессора *О.В. Беуко*). – М.: ИРЭ РАН, 1991, т. 2.
167. *Владимирский Б.М.* Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты. – Проблемы космической биологии. – М.: Наука, 1982, т.43, с.166–173.
168. *Владимирский Б.М., Норманский В.Я., Темуриянц Н.А.* Космические ритмы: в магнитосфере-ионосфере, в атмосфере, в среде обитания; в биосфере-ноосфере, в земной коре. – Симферополь, 1994, 173 с.
169. *Плеханов Г.Ф.* Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. – Томск: Изд-во Томского университета, 1990, 186 с.
170. *Темуриянц Н.А.* Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений. – Автореф. Дисс...док. биолог. Наук. – М., 1989, 44 с.
171. *Сидякин В.Г.* Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. – Киев: Наукова думка, 1986, 160 с.
172. *Лебедева Н.Н., Сулимов А.В., Сулимова О.В., Котровская Т.И.* Влияние электромагнитного поля мобильного телефона на биоэлектрическую активность мозга человека. – Биомедицинская радиоэлектроника. № 4, 1998, с.3–12.
173. *Лебедева Н.Н., А.В. Сулимов, О.П. Сулимова, Т.И. Котровская, Гайлус.* Исследование биопотенциалов мозга спящего человека в условиях воздействия на него электромагнитного поля мобильного телефона. – Биомедицинская радиоэлектроника, 1999, № 7, с. 15–24.
174. *Лебедева Н.Н., Котровская Т.И., Милованова Г.Б., Потулова Л.А., Марагей Р.А.* КВЧ-излучение компенсирует изменения биоэлектрической активности мозга человека, вызванной ЭМП мобильного телефона. – В сб. докладов 13 Российского симпозиума с междунар. участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», 1–3 декабря 2003 г., Москва, с.124–127.

175. *Беукий О.В., Девятков Н.Д., Лебедева Н.Н.* Лечение электромагнитными полями. Часть 1. Источники и свойства электромагнитных волн. – Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 7, с.3–9; Часть 2. Шкала электромагнитных волн. Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 10, 3–9; Часть 3. Использование шкалы электромагнитных волн для диагностики и лечения". Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 12, с. 11–33.
176. *Девятков Н.Д., Беукий О.В., Голант М.Б., Дедик Ю.В., Кислов В.В., Кислов В.Я., Лебедева Н.Н., Синицын Н.И.* Разработка аппаратуры для лечения и функциональной диагностики человека на основе концепции о взаимодействии низкоинтенсивных электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона волн с живыми организмами. – Материалы Государственной премии РФ в области науки и техники, 2000.
177. *Дедик Ю.В., Кругляков Н.А., Реброва Т.Б. и др.* Малогабаритная экспериментальная терапевтическая установка для лечения СВЧ облучением. – Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ, 1984, вып. 6, с.61.
178. *Дедик Ю.В.* Установка для КВЧ-терапии "Явь-1". – Электронная промышленность. 1988, №2, с.53.
179. *Гассанов А.Г., Писанко О.И. и др.* Аппараты "Электроника -КВЧ" для медико-биологических исследований и КВЧ-терапии. – В сб. "ММ волны в медицине и биологии". Под ред. акад. Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1989, с.269–276.
180. Аппараты "Электроника-КВЧ" в биологии и медицине: [Тез. докл. сем.: 1990 г., Киев] / Под ред. А.Г.Гассанова. – М.: ВИМИ, 1990, 52 с.
181. *Гассанов А.Г., Писанко О.И., Балаба А.Н., Скляр А.П.* Аппараты КВЧ-терапии серии «Электроника-КВЧ». – Электронная промышленность, 1991, №3, с. 67–59.
182. *Аверин В.В., Беукий О.В., Лебедева Н.Н., Юхин А.Ф., Шольц Х.* Аппарат для КВЧ-терапии. Патент РФ (по заявке № 96118532/14(024870) с приоритетом от 17.09.96 г.).
183. *Аверин В.В., Беукий О.В., Лебедева Н.Н., Юхин А.Ф., Шольц Х.* Аппарат для лечения электромагнитными волнами. Патент РФ (по заявке 96119567/14(026077) с приоритетом от 30.09.96.

184. Аверин В.В., Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Юхин А.Ф., Шольц Х. Устройство для лечения с помощью низкоинтенсивных электромагнитных волн на разных частотах несущего колебания. Патент РФ по заявке № 4530/14(031285) с приоритетом от 27.12.96.
185. Бецкий О.В., Чигряй Е.Е., Яременко Ю.Г. "Устройство для КВЧ-терапии". Патент РФ № 2.089.166 с приоритетом от 25.01.96.
186. Мясин Е.А. Котов В.Д. Аппарат для КВЧ терапии «Шлем-1». – 10 Российский симпозиум. "ММ волны в медицине и биологии". Сборник трудов. – М.: ИРЭ РАН, ЗАО «МТА-КВЧ», 1995, с.195.
187. Голант М.Б., Дедик Ю.В., Кузнецов А.П. Приборы для КВЧ-диагностики "Ялбот" и аппараты для КВЧ-терапии "Ярмарка". – В сб [4], с.177.
188. Яцуunenко А.Г., Наливайко В.С., Прохоров Е.Ф. Разработан лечебно-диагностического комплекса "Луч-КВЧ". – 10 Российский симпозиум "ММ волны в медицине и биологии". Сборник трудов. – М.: ИРЭ РАН, ЗАО «МТА-КВЧ», 1995, с. 185.
189. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.И., Синицын Н.И., Ёлкин В.А., Петросян В. И. Способ функциональной диагностики и аппаратный комплекс для его осуществления, Патент РФ № РФ № 2 192 781 с приоритетом от 12.10.1999. Выдан 20 ноября 2002.
190. Самосюк И.З., Лысенко В.П. Акупунктура. Энциклопедия. – Киев, Москва, Украинская энциклопедия, Аст-пресс, 1994, 541 с.
191. Девятков Н.Д., Кислов В.Я. Компьютеризированная электрофизическая диагностика и КВЧ-коррекция функционального состояния внутренних органов человека - Радиотехника и электроника, 1994, т.39, N12, с.20-59.
192. Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Белый Ю.Н., Кислов В.Я., Кислов В.В., Теодорович С.Л., Васин И.Ю., Полянская Л.Н., Колесов В.В., Смирнов В.Ф., Чигин Е.П. Электрофизические основы и клинические применения диагностики и КВЧ-коррекции функциональных состояний человека. – Радиотехника и электроника, 1995, т.40, №12, с.1887–1899.
193. Мегдятьов Р.С., Архипов В.В., Кислов В.Я., Колесов В.В., Смирнов В.Ф. Применение лечебно-диагностического

- комплекса "Шарм" в комплексной терапии невралгии тройничного нерва. -- Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1995, №5, с.20–24.
194. *Девятков Н.Д., Кислов В.Я., Колесов В.В., Смирнов В.Ф., Отчерцов А.В.* Лечебно-диагностический комплекс "Шарм". – В сб. докладов: Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М.: ИРЭ РАН, 1995, с.178–179.
195. *Девятков Н.Д., Кислов В.Я., Кислов В.В., Колесов В.В., Смирнов В.Ф., Чигин Е.П.* Компьютеризированная электрофизическая диагностика и КВЧ-коррекция функционального состояния внутренних органов человека". – В сб. докладов: Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М.: ИРЭ РАН, 1995, с.184–185.
196. *Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Кислов В.Я., Кислов В.В., Колесов В.В., Смирнов В.Ф., Чигин Е.П.* Обнаружение эффекта нормализации состояния внутренних органов человека под воздействием КВЧ-активизированной воды. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1996, №8, с.65–68.
197. *Девятков Н.Д., Белый Ю.Н., Василенко А.М., Кислов В.Я., Кислов В.В., Колесов В.В., Смирнов В.Ф., Чигин Е.П.* Применение новых рефлексотерапевтических методов на основе лечебно-диагностического комплекса "Шарм" при лечении больных с нарушениями мозгового кровообращения. – Миллиметровые волны в биологии и медицине, 1996, № 8.
198. *Аверин В.В., Беуцкий О.В., Лебедева Н.Н., Посмитный С.В., Юхин А.Ф.* "Способ получения биологически активной жидкости и устройство для его осуществления". Патент РФ № 2.137.500 с приоритетом от 08.06.98.
199. *Беуцкий О.В., Лебедева Н.Н., Посмитный С.В.* "Способ повышения жизнеспособности биообъектов". Патент РФ № 2.2148.903 с приоритетом от 07.12.1998.
200. *Беуцкий О.В., Лебедева Н.Н., Посмитный С.Д., Котов В.Д.* Устройство для активации воды. – Патент РФ № 2 203 529 с приоритетом от 01.08. 2000.
201. *Betskii O.V., Lebedeva N.N.* Low Intensity Millimeters Waves in Biology and Medicine. – In: Bioelectromagnetic Medicine/ed. by Paul J. Rosh and Marko S. Markov, N.Y.–Basel, Marcel Dekker, Inc., 2004, pp. 741–761.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН	11
1.1. Шкала электромагнитных полей	11
1.2. Электромагнитные волны в электродинамических системах	14
1.3. Искусственные и естественные источники электромагнитных полей	23
1.4. Физические и биотропные параметры электромагнитных полей	35
1.5. Чувствительность биологических объектов к слабым электромагнитным полям	36
1.6. Вода и миллиметровые волны	54
1.7. Особенности взаимодействия ММ-излучения с водой и водными растворами	65
2. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ	70
2.1. Экспериментальные исследования	70
2.2. Экспериментально-клинические исследования	77
2.3. Экспериментальное исследование влияния миллиметровых наносекундных импульсов с большой пиковой мощностью	83
2.4. Биологические эффекты низкоинтенсивного ММ-излучения	93
3. МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН С ЖИВЫМИ ОБЪЕКТАМИ	101
3.1. Первичные эффекты взаимодействия	101
3.2. Биофизические механизмы (оригинальная авторская концепция о биофизическом механизме воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на живые системы)	104
3.3. Физиологические механизмы	112

4. ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН В НЕТРАДИЦИОННЫХ ОБЛАСТЯХ	118
4.1. Применение низкоинтенсивных миллиметровых волн в медицине	118
4.2. Миллиметровые волны в сельском хозяйстве	146
4.3. Применение ММ-волн в биотехнологии	156
4.4. Коррекция с помощью низкоинтенсивных ММ-волн изменений биоэлектрической активности мозга человека, вызванной электромагнитным полем мобильного телефона	165
5. АППАРАТУРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН В НЕТРАДИЦИОННЫХ ОБЛАСТЯХ	170
5.1. Терапевтическая аппаратура	170
5.2. Лечебно-диагностические комплексы	186
5.3. Аппаратурный комплекс для функциональной диагностики и КВЧ-коррекции состояния человека «Шарм»	191
5.4. Аппаратура для облучения воды и водных растворов	203
5.5. Представление о будущем развитии КВЧ-аппаратуры	206
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	208
ЛИТЕРАТУРА	213
АНГЛИЙСКОЕ РЕЗЮМЕ	235

Millimeter Waves and Living Systems (The Content of a book)

O. V. Betskii, V.V. Kislov and N. N. Lebedeva

Institute of Radio Engineering and Electronics
of the Russian Academy of Sciences,
11 Mochovaya str., bld.7, Moscow, 101999 K-9 GSP-9, Russia;
tel: (095) 203-4789; E-mail: kislov@mail.cplire.ru,
Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology
of the Russian Academy of Sciences,
5a Butlerova str., Moscow, 117475, Russia; tel: (095) 112-5192;
E-mail: n.leb@relcom.ru

Electromagnetic millimeter (MM) waves ($\lambda = 1$ to 10 mm) correspond to the extremely-high-frequency (EHF) band: $f = 300$ to 30 GHz. In the electromagnetic spectrum, this band lies between the super-high-frequency (microwave) band and the optical (infrared) band.

The first wideband oscillator with an electric tuning of oscillation frequency was developed and brought into production in the U.S.S.R. under the leadership of Academician N. D. Devyatkov and Professor M. B. Golant in the mid 1960s. The oscillator was called an O-type backward-wave tube. It was employed both to improve radio navigation systems and to create new communications systems.

In those days, scientists all over the world discussed possible application of electromagnetic waves in nontraditional fields – such as biology, medicine, and some others. Creators of the MM-wave oscillator suggested an idea of investigating biological effects of MM-wave radiation. These waves were of special interest for scientists because they were unlikely to take part in phylogenesis of terrestrial beings. The point is that MM-wave radiation is virtually absent in natural conditions. This is due to its strong absorption by the Earth's atmosphere: MM waves are absorbed eagerly by water vapor.

It was hypothesized that low-intensity (nonthermal) MM-waves might have a nonspecific effect on biological structures and organisms. Foreground investigations, which have been performed in the U.S.S.R. and then in Russia for more than

40 years, made it possible to enunciate a hypothesis that vital functions in cells are governed by coherent electromagnetic EHF radiation: the alternating electromagnetic field of these waves maintains interaction between adjacent cells to interrelate and control intercellular processes in the entire being. This hypothesis formed the basis for a new scientific lead that was originated at the turn of several branches of sciences: biophysics, radio electronics, medicine, and some others. This lead was thereafter named *millimeter electromagnetobiology*.

Fundamental Results of Experimental Investigations of the Effect of Low-intensity Millimeter Waves on Biological Objects

Early experimental studies were carried out at the All-Union Cancer Research Center of the U.S.S.R. Academy of Medical Sciences. This center is among leading medical establishments in Russia. Investigations made on microorganisms (bacteria *E. coli*) and laboratory animals (mice and rats) discovered an interesting experimental fact. It was found that different microorganisms exposed to MM-wave radiation exhibited a frequency-dependent biological effect. The equivalent intrinsic Q -factor (calculated from the formula $Q = f_0/\Delta f_{0.5}$, where f_0 is the resonance frequency and $\Delta f_{0.5}$ is the FWHM of the biological effect) amounted to hundreds and thousands of units. The mechanism of appearance of such great values is not explained so far.

Another essential and accepted fact is that a biological effect plotted against the electromagnetic-wave power exhibits a "plateau." Experiments made on microorganisms demonstrated that the plateau could extend for three orders of magnitude, or more. It was also found that a threshold intensity that gave rise to biological effects could be as small as units or tens of microwatts per square centimeter.

Hence, the very first experimental investigations established that MM waves can bring about biological effects at low radiation powers – *low-intensity* or *nonthermal* powers. In this case, the integral heating of an exposed surface does not exceed a physiologically significant temperature increment, which amounts to approximately 0.1°C . The effect of MM waves on living beings was called *informational*. This was done

from analogy with communication lines, which reveal the same behavior. A. S. Presman was the first to introduce the term *informational* to electromagnetobiology.

By now, scientists have amassed a great experimental and theoretical material about the effect of low-intensity MM-wave radiation on biological objects. Below, we shall outline the most essential facts.

– *EHF radiation is strongly absorbed by water and aqueous solutions of organic and inorganic substances* (Betskii OV, Kislov VV., 1988). When electromagnetic radiation is absorbed by water, its wave energy is converted into rotational, translational, and librational degrees of freedom. For example, a 1-mm thick water layer attenuates MM-wave radiation by 20 dB at $\lambda = 8$ mm and by 40 dB at $\lambda = 2$ mm. This fact is of great importance for biology: suffice it to say that all biological organisms contain much water. For example, the human skin contains more than 65% water. Hence, almost all radiation is absorbed at a skin depth of 0.5 to 1 mm (the epidermis and the top dermis). When MM waves are incident on the skin, they are primarily targeted at its anatomical structures, such as receptors, capillaries, cells, liquid (aqueous) solutions of organic and inorganic substances (Betskii OV, Yaremeko YuG, 1998).

– *MM-wave absorption violates the additivity law of a solvent (water) and solutes* (Betskii OV, Zavizion VA, Kudriashova VA, Khurgin Yu I, 1994). For a particular solution, real absorption can be greater or smaller than the additive one. Absorption depends on the intermolecular interaction between a solvent and a solute. When an aqueous solution shows poor absorption, this may indicate, for example, that part of water molecules is in a bound state. As a result, absorption decreases because water molecules lose their rotational degrees of freedom (Gaiduk VI, 1991). An excess of real absorption over the additive one can arise from the “heating” of separate molecules or molecular groups due to the appearance of additional degrees of freedom (mainly, the rotational ones).

– *MM waves stimulate production of biologically active substances by immunocompetent cells*. This phenomenon is carefully discussed in (Govallo VI, Sarkisyan AG, Efimtseva NI et al., 1981) and was additionally proven in other studies. Indirectly, it is confirmed by the polytherapeutic effect of EHF therapy and by the enhanced nonspecific resistivity of an organism.

– *EHF radiation changes microbial metabolism.* This fact was observed in almost all experimental investigations on microbes. MM waves were reported to have a pronounced effect on the microbial vital activity. After MM-wave exposure, microorganisms began to produce biologically active substances. Now, this phenomenon is used in various biotechnological processes (Tambiev AKh, Kirikova NN, Luk'yanov A A., 2002).

– *MM-wave radiation stimulates ATP (adenosine 5'-triphosphate) synthesis in green-leaf cells.* For the first time, the effect of radiation on ATP synthesis was observed in leaves of the indoor plant *Balsaminus* (Petrov IYu, Betskii OV, 1989). As is known, ATP is a universal chemical source of energy in living cells. The fact that MM-waves stimulate ATP synthesis has an effect on microbial vital activity. This phenomenon was indirectly confirmed in medical practice (when a diseased being revealed normalization of vital processes) and in experimental studies (when an organism enhanced the synthesis of biologically active substances).

– *EHF radiation increases crop capacity (for example, after presowing seed treatment).* The first observations in this field were apparently made by the authors of (Berzhanskaya LYu, Beloplotova OYu, Berzhanskii V N., 1993). Experiments were made on various indoor plants. It was reported (Petrov IYu, Morozova EV, Moiseeva TB, 1991) that MM-waves have a stimulating effect both on the germination of popular garden seeds and on their crop capacity. A number of other investigations obtained similar results for seeds of other plants and trees.

– *MM waves change the rheological properties of blood capillaries.* Experimental studies revealed that dielectric capillaries (which simulate capillaries in tissues) exhibited resonance absorption of MM waves. The equivalent Q-factor of resonance peaks was found to be tremendously high—on the order of 10^3 to 10^4 . Note, it is rather hard to force metal cavities to yield such Q-factors in the microwave and MM-wave bands. The resonance absorption in water and in various aqueous solutions is accompanied by a considerable decrease in the adhesive force between the inner capillary wall and the flowing fluid (Betskii OV, Putvinskii AV., 1986). However, the mechanism of this phenomenon is still unexplained. Nevertheless, the “capillary” effect can explain the efficiency of MM-wave-based treatment of obliterating endarteritis.

– *EHF radiation excites CNS (central nervous system) receptors and induces bioelectric responses in the cerebral cortex.* It is natural to question how information is transmitted from a thin skin layer to the internal organs. The fact that the human CNS is involved in the realization of MM-wave-induced effects is discussed in (Lebedeva N N., 1992; 1993; 1998). It was demonstrated that 80% of healthy people can reliably perceive low-intensity MM waves (sensory indication). However, such perception exhibits sensory asymmetry. Peripheral application of MM waves was shown to have an effect on the spatiotemporal organization of brain biopotentials. As a result, the cerebral cortex develops a nonspecific activation reaction (tonus enhancement). According to (Lebedeva N N., 1992; 1993; 1998), pain receptors (nociceptors) and mechanoreceptors are the CNS receptors that perceive MM waves. MM-wave-induced effects are realized mainly by the nonspecific somatosensory system, which is linked to almost all regions of the brain.

– *Even a single MM-wave exposure is memorized ("water memory").* The last several years have seen publications of new findings about the role of water and aqueous solutions in the realization of biological mechanisms of MM waves. For the first time, a hypothesis about an important role of water was advanced in 1979 in (Il'ina SA, Bakaushina GF, Gaiduk VI et al). New properties of water exposed to MM-waves are described in (Gapochka LD, Gapochka MG, Korolyov AF et al, 1994; Fesenko EE, Gelentyuk VI, Kasachenko VN, Chemeris NK., 1995). The authors discussed the excitation of metastable states in the energy diagram of water structure. It was shown that the physical mechanism of "water memory" formation is associated with the network of hydrogen bonds. In a hydrogen bond between two water molecules, a hydrogen atom that is located between two oxygen atoms has two equiprobable positions. This atom (proton) can be regarded as a particle tunneling between two potential wells. The possible tunneling splits the proton energy level into two closely spaced levels with an energy difference of ΔE_p . In this case, the proton tunneling frequency is given by $\omega_p = \Delta E_p / h$, where h is Planck's constant. The tunneling frequencies of clusters and clathrates $\{(H_2O)_n$, where $n = 50$ to $60\}$ fall within the millimeter and submillimeter bands. As a result, these systems absorb MM-waves in a resonant manner. Experimental investigations described by

Fesenko EE, Gelentyuk VI, Kasachenko VN, Chemeris NK., 1995 showed that water (aqueous solutions) can store information ("memory") about MM-wave irradiation for a long time - from a few minutes to several tens of minutes). This information manifests itself in the retention of biological (biochemical) activity by water after irradiation termination.

- *Water and aqueous solution bleach as a result of the SPYo effect*^{*}. Sensational are the results of experimental and theoretical investigations that showed the feasible existence of "low-loss transmission windows" in water and water-containing objects (we mentioned about it earlier). These windows were observed at the intrinsic resonance frequencies of water clusters (Petrosyan VI, Zhiteneva EA, Gulyaev YuV et al, 1995; Sinitsyn NI, Petrosyan VI, Yolkin VA et al, 1998; 2000). This phenomenon occurs in a narrow range of exposure power - on the order of fractions and units of microwatts.

- *MM waves induce convective motion in the bulk and thin layers of fluid*. MM waves may give rise to compound convective motion in the intracellular and intercellular fluid. This lifts restrictions from diffusive motion of fluid near cells. As a result, the transmembrane mass transfer and charge transport become more active. Model experiments confirmed this statement. Convection is readily observed at a power density of 0.5 to 1 mW cm⁻². The results of such experiments are described in (Betskii OV, Putvinskii AV., 1986; Khiznyak EP, Ziskin MC., 1996). Note, convection may occur not only in the bulk of fluid but also in thin layers whose depth is less than 1 mm. This phenomenon can be observed at threshold powers of incident radiation—on the order of several microwatts (Khiznyak EP, Ziskin MC., 1996).

- *EHF radiation increases the hydration of protein molecules*. It is known that dehydration of protein molecules affects them. As a result, proteins go from a functionally active to functionally passive state (Betskii OV, Zavizion VA, Kudriashova VA, Khurgin Yu I, 1994). It was demonstrated by experiment that MM-waves can restore the hydration number. Unfinished by Yu. I. Khurgin experiments were a cause for such a statement. They were made using chymotrypsin. It

^{*} *SPYo effect* stands for Sinitsyn, Petrosyan, and Yolkin (these scientists were the first to observe and describe this effect)

served as a catalyst for a biochemical reaction. Chymotrypsin catalytic reactivity was varied by changing its hydration number: when the hydration number decreased, the reaction yield also decreased. It was observed that MM-wave irradiation increased the reaction yield. This could result solely from an increase in chymotrypsin hydration, which enhanced protein activity. The hydration number increased because of electromagnetic energy conversion into the rotational-translational energy of water molecules. This changed the "protein-water" complex from a functionally passive to functionally active state.

– *MM waves give a microthermal massage.* It was demonstrated by experiment that MM waves produce a nonuniform distribution on the skin surface. Experiments were carried out using the "Yav'-1" device having a rectangular horn. When exposed to MM-wave radiation, the skin surface exhibited several thermal extrema, which were visualized by a thermal imager. Although the average temperature rise was insignificant, two or three maxima were overheated by several degrees of centigrade. In a thermal image, the extrema looked like points—"thermal spikes." When the EHF carrier was modulated in frequency or amplitude, the spikes were found to migrate across the skin surface. Chernavskii DS (1991) suggested that this effect could give a thermal massage to the skin receptors (by analogy with conventional thermal acupuncture).

– *EHF radiation excites acousto-electric oscillations (the Fröhlich oscillations) in plasma membranes.* A theoretical study (Fröhlich H, 1968) showed that plasma membranes may generate coherent oscillations, which are sustained by metabolism. These oscillations occur either in the entire plasma membrane or in its separate parts. In the electromagnetic spectrum, these oscillations fall within the EHF band. The authors of (Devyatkov ND, Golant MB, Betskii OV., 1991) believe that such oscillations are nothing else but acousto-electric oscillations. The purpose of these oscillations is to stimulate the transport of water and other substances across the membrane, sustaining it in the active state. Later on, some authors who tackled the problem of EHF therapy expressed another interesting view. An illness deranges the intrinsic oscillations of the membrane, whereas an EHF therapy device simulates the dying oscillations of the membrane. As a result, EHF radiation restores the oscillations, normalizes membrane functioning, and cures the sick person.

Experimental Clinical Investigations

Sevast'yanova L. A. (1969–1971) was among the first scientists who launched investigations into the biological effects of low-intensity MM waves on mammals. She demonstrated that preliminary MM-wave irradiation may counteract X-ray-induced effects in the bone marrow. She also estimated MM-wave penetration into the skin of animals. Sevast'yanova L. A. determined the distribution pattern of MM-wave power for some animals and human beings. The estimated penetration depth showed that MM-waves produce a mediate protective effect.

Investigations that lasted for more than 20 years were performed on more than 12,000 laboratory animals (mice and rats). The response of the hematogenous system was evaluated by the count and state of marrow cells (karyocytes) present in the right and left femoral arteries as well as in the spleen. The results obtained are given below.

- *The biological effect depends on the power flux density.*
- *The biological effect depends on the wavelength.*
- *The biological effect depends on the MM-wave exposure site location.*
- *The biological effect depends on the MM-wave exposure area.*

As far back as the 1970s, W. R. Adey advanced a hypothesis that the electromagnetic spectrum should contain "amplitude-frequency windows" in which biological effects are more pronounced. The above-described results served as the first experimental verification of this hypothesis. It was inferred that biological effects of electromagnetic radiation, and particularly of MM-wave radiation, are determined by its biotropic parameters, such as the intensity, frequency, signal waveform, location, exposure, etc.

It is known that cells exposed to X-rays reveal different types of lesions that depend on the X-ray dose. These lesions manifest themselves in the form of chromosome aberrations, decreased mitotic activity, and inhibited reproductive ability. In turn, this leads to reduced karyocyte and blood-cell counts.

Most radioprotectors do not exhibit sufficient selectivity. As the radiation dose increases, they themselves may produce toxic effects. Results obtained by L. A. Sevast'yanova were evidence that MM-waves have a protective effect and that they influence karyocytes selectively.

When MM-wave irradiation was followed by X-ray exposure, *intact* animals (without grafts) revealed a smaller damage degree of karyocytes as compared to those exposed to X-rays alone: by the fifth day, the karyocyte deficiency was 15% only, whereas it amounted to 38% in animals exposed sequentially to X-rays and MM-waves.

Like radiation, antineoplastic compounds isolate the DNA-membrane complex and retard the DNA and RNA synthesis. At the cellular level, the effect of X-ray exposure has much in common with the effect of chemotherapy compounds: a sluggish cellular cycle, delayed mitosis, chromosome aberrations, as well as reproductive and interphase death.

Investigations were made of the combined influence of MM-waves and antineoplastic compounds. They demonstrated that MM-wave radiation with some particular parameters can counteract the detrimental effect of antineoplastic compounds on the hematogenous system. Furthermore, MM-waves were found to stimulate the functional activity of stem cells.

Speaking about hematogenous system responses, the combined influence always yielded more karyocytes than X-rays or antineoplastic compounds alone. This held true for all combinations used in the experiments. Being combined with antineoplastic compounds, both single and multiple MM-wave exposures produced a decrease in the damage degree of karyocytes. MM-wave irradiation alone produced no changes in the hematogenous system of animals.

A big scientific problem is to govern the sensitivity of tumor cells to radiation and chemotherapy. Almost all known compounds and their combinations cause lesions of healthy tissues. Quite often, toxic effects become noticeable before the antineoplastic effect. They may be so severe that the patient has to be withdrawn from the cure.

Experimental results demonstrate that MM-waves do not affect healthy cells and tissues. At the same time, they favor a more rapid recovery of vital functions in affected tissues. When combined with X-rays or antineoplastic compounds, MM-waves act as a protector. This arises from an increased proliferative activity of stem cells of the hematogenous system. As a result, mitotic activity of karyocytes increases.

The effect of MM-wave radiation on the hematogenous system was studied in animals with malignant tumors. The experi-

ments were made on 1,500 animals receiving X-rays in combination with an antineoplastic compound – cyclophosphane. It was found that MM-wave radiation prolonged the life expectancy of the animals by 10 to 15 days, as compared to the control group.

Investigations of the combined influence of MM-waves and X-rays were performed on primary tumors grafted into the CBA mice. It was found that, when X-ray exposure was followed by MM-wave irradiation, the tumor growth was retarded significantly. By the thirtieth day, the tumor growth retardation reached 80% to 90%. However, when X-rays were applied alone or when MM-wave irradiation preceded X-ray exposure, the tumor growth retardation- determined by the thirtieth day - was 60% to 65%. In this case, the karyocyte count exhibited virtually no decrease: by the seventh day, it was at the level of the physiological norm.

When X-rays were applied alone, karyocytes exhibited a sluggish recovery. Even by the seventh day, the karyocyte count failed to reach the control level. When X-ray exposure was followed by MM-wave irradiation, the karyocyte count - made by the seventh day- reached the physiological norm.

Peripheral blood examination was also made during the experiments. It revealed that animals subjected to MM-wave irradiation followed by X-ray exposure exhibited greater erythrocyte and leukocyte counts as compared to animals subjected either to X-rays alone or to X-rays followed by MM-waves.

A group subjected to the combined influence revealed a reduced karyocyte count on the first day only, with the karyocyte deficiency being 20%. By the fifth day, the karyocyte count reached the physiological norm. After X-ray exposure, the karyocyte count was recovered by the twenty-first day.

The sequential application of X-rays and MM-waves brought about a significant tumor growth retardation. It was more pronounced than that caused either by X-ray exposure alone or by MM-wave irradiation followed by X-ray exposure. After a seven-day irradiation, the tumor growth retardation reached 90% to 95%. However, the karyocyte count remained decreased for 5 days. The cell deficiency amounted to 30% within the first days. After that, the karyocyte count exhibited gradual normalization. When the double combination was applied, the tumor growth retardation amounted to 90% by the thirtieth to thirty-fifth day.

Thus, the double combination not only counteracted the hematogenous system damage, but it also retarded the tumor growth, with both effects being stronger as compared to X-rays alone.

Combined X-rays and MM-waves potentiated the effect of cyclophosphane on the tumor within 13 days. The effect was greater by a factor of 3 to 4 as compared to that without MM waves. The peak of effect was observed by the twenty-fifth day.

The hematogenous system response was studied on a group of animals subjected to the combined influence of cyclophosphane and MM-waves. By the third day, the karyocyte count of animals reached the control level and retained it over the entire observation time (for 14 days). When the compound was employed alone, the karyocyte count - made by the fourteenth day - did not reach the control level.

The encouraging results of the first course of treatment suggested that the treatment should continue. After the second course of treatment, the antineoplastic effect became noticeable within 24 days. By the thirtieth day, the whole group of animals receiving cyclophosphane was found dead, whereas all the animals receiving the combined treatment were alive. The percent of tumor resolutions reached 90% to 100%. These animals were followed up for 18 months, with no relapses being observed. The time history of erythrocytes was recorded for animals that received two courses of treatment. It was found that the combined influence ensured the protection of erythrocytes during the entire cure. In animals receiving combined treatment, the erythrocyte count - made for 51 days - proved to be normal.

Hence, the combined application of MM-waves and cyclophosphane in animals with sarcoma-180, on the one hand, decreases the compound toxicity and, on the other hand, potentiates its effect on the tumor.

In vitro experiments were made to study the effect of low-intensity MM-waves on hemopoietic cells of the bone marrow. With this end in view, L. P. Ignasheva and E. I. Soboleva (1991) investigated the problem of survival of mice that had received a lethal radiation dose. In their investigation, they transplanted a cryogenically preserved bone marrow. After defrosting, they exposed the bone marrow to MM-waves.

Success for myelotransplantation depends on the preservation quality of hemopoietic stem cells. Usually, bone marrow

sanguification recovers later in animals which underwent transplantation using a defrosted bone marrow: it is delayed by 7 to 8 days as compared to animals which underwent transplantation using an *extempore*-produced bone marrow. It is believed that quality of karyocytes is sufficient when animals that had received a lethal radiation dose stay alive for more than 30 days.

Hybrid mice were used as donors and recipients. Cryogenically preserved karyocytes were subjected to MM-wave irradiation at a wavelength of 7.1 mm. Irradiation was carried out according to an optimum program mode. Animals of the control group were not performed transplantation. By the fifteenth day, they all died of acute radiation sickness. The disease revealed typical clinical manifestations: weight loss, adynamic motion, and receding hair.

When a defrosted bone marrow was transplanted without MM-wave irradiation, only 45% of animals survived by the thirtieth day. When the defrosted bone marrow was subjected to MM-wave irradiation before transplantation, 53% of recipients remained alive within the observation time. The animals of both groups exhibited a slight hypodynamia and an insignificant weight loss that showed tendency towards recovery by the end of the observation time.

Hence, non-thermal low-intensity MM-wave irradiation produced a beneficial effect on the stem cells of cryogenically preserved bone marrow and increased the survival rate of post-myelotransplantation recipients that had received a lethal radiation dose. The above-described technique can be used to enhance the repopulation ability of cryogenically preserved bone marrow.

Unorthodox experimental studies were made at the Institute for Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences in collaboration with the P. A. Gertsen Moscow Cancer Research Institute. Launched in 1989 and 1990, these investigations dealt with the interaction between malignant tumors and low-energy nanosecond MM-wave and microwave pulses having a giant peak power - tens and hundreds of millions of watts (Devyatkov ND, Pletnyov SD, Chernov ZS, Faikin V V et al, 1994; Devyatkov ND, Betski, OV, Kabisov RK et al, 1998). Despite a giant radiation power, the heating of an object was virtually absent because of a short pulse duration - on the

order of 10 ns. At the same time, such short-pulse radiation was not ionizing, i. e., it did not cause bond scissions due to very small quantum energy in this spectral range. A distinguishing feature of such pulsed radiation was a high intensity of the external alternating electric field - from 10^4 to 10^5 V cm⁻¹. This intensity is comparable with the natural quasistatic intensity of an electric field in cell membranes.

Investigations were performed on the Walker carcinosarcoma grafted intramuscularly into the Wistar rats. Multiple experiments were made using MM-wave and microwave radiation with the above-mentioned parameters. They revealed that exposed animals revealed a number of features, as compared to the control ones. These features were as follows:

- life expectancy was prolonged after the application of such waves;
- the growth rate of grafted tumors decreased and stabilized (it was halted for several days);
- the tumor growth was halted, and the life expectancy was much longer when MM waves or microwaves were combined with chemotherapeutic compounds;
- the metastasis degree profoundly decreased both when MM waves and microwaves were used alone as well as when they were combined with chemotherapeutic compounds.

In vitro experiments revealed that the tumor-cell count at different destruction stages (up to their death) was greater in exposed suspensions than in the nonexposed ones. A follow-up study that lasted for 12 to 18 months revealed no noticeable changes in the behavioral reactions and general state of exposed healthy animals. A postmortem examination of exposed animals revealed no pathologoanatomic changes in their liver, kidneys, adrenal glands, and immunocompetent organs (such as the thymus, spleen, and lymphatic nodes) as compared to the control animals of a corresponding age. These investigations thus showed that pulsed radiation has both direct and indirect-through the immune system's activation-effects on tumor cells.

A research team headed by V. I. Govallo (1991) at the Central Research Institute for Traumatology and Orthopedy in collaboration with the "Istok" Research and Production Association conducted investigations into the effect of MM waves on human lymphocytes and fibroblasts. It was demonstrated *in vitro* that human lymphocytes and fibroblasts produce a *factor-phytokine* under MM waves. It enhances the growth and functional activity

of similar cells. In high concentrations, *phytokine* is contained in destroyed irradiated cells (lysates), and it is released in a cultural medium. MM-wave irradiation itself does not stimulate cell growth, does not change the expression of superficial lymphocyte receptors, and does not have an effect on their sensitivity to mitogens or exogenous immunomodulators. However, when added to a culture, *phytokine* vigorously stimulates the proliferative potential of lymphocytes and fibroblasts.

This factor-phytokine is produced in cytoplasm. It is bound up with the activation of dehydrogenases: the concentration of lactatedehydrogenase increases by a factor of 3 to 5 in irradiated cells. This activation factor is attributed to a class of cell regulators - cytokines. It does not belong to a group of interleukins or interferons. However, it may be attributed to lymphokines or monokines. This is a low-molecular glycosylation factor, secreted locally or distantly. It acts in a paracrine or autocrine way, but not in the endocrine one.

It is apparent that the described mechanism may explain the immunomodifying effect of MM-wave radiation. This effect was observed while treating inpatients with suppurative diseases and complications at the Central Research Institute for Traumatology and Orthopedy. Difficulty in treatment of such diseases is associated with a high severity of injuries, complicated and long-term operations, insufficient immunologic reactivity of patients, as well as with changes in the properties and behavior of suppurative infections, which appear to be resistant to many antibacterial agents.

MM-waves were applied to treat severe missile and shot-gun injuries of the locomotor system. The injuries were complicated by suppurative and wound infections (Kamenev YuF, Shaposhnikov YuG, Mussa M, Akimov GV, 1988). The results obtained are as follows:

- the duration of separate phases of the wound process, including bad infected wounds, decreased by a factor of 1.5 to 2 as compared to the control group;
- MM-waves produced a pronounced stimulating effect on wound tissue regeneration (the daily fractional decrease in the wound surface area virtually corresponded to that for uncomplicated wounds);
- grafts revealed a 100% retention;
- the osteomyelitic process was eliminated: MM-waves relieved pain and subsided inflammation in the injured region of

a limb; they also stimulated total and local closing of fistulae as well as epithelization of injured soft tissues;

- 92.3% of the patients showed satisfactory outcomes shortly after operations;

- postoperative relapses decreased by 20%;

- microbial semination of wounds was reduced after opening and excision of festerous-necrotic foci.

Microbiological examinations were conducted *in vitro* to study the effect of MM-waves on microbes. It was found that MM waves produce no direct effect on microbial susceptibility to antibiotics as well as on their biochemical and cultural properties.

Investigations carried out demonstrated that MM-waves normalize immune-system parameters, which is of value for MM-wave therapy efficiency. Patients who underwent serious reconstructive operations suffer from secondary immunodeficiency, which complicates their recovery. MM-waves brought about pronounced shifts in the patients' immunograms. As a result, the patients showed a fractional and absolute increase in T-lymphocyte and T-helper counts (by 30 to 50% and 30 to 80%, respectively). The patients also revealed an increased natural-killer count (by 40 to 60%).

Hence, instead of a direct antimicrobial effect on pathogenic microflora, MM-waves produce an indirect effect on it. They enhance an organism's general reactivity and increase wound-tissue viability.

The immunostimulating effect of MM-waves was clearly demonstrated by a research team from Leningrad (Ryzhkova LB, Starik AM, Volgarev AP, Gal'chenko SV, Sazonov AYU., 1991). These researchers investigated how MM-wave radiation protects against and prevents from influenzal infections. To this end, animals received a lethal dose of the influenza A virus. MM waves were applied to healthy animals (preliminary irradiation) and to infected animals (subsequent irradiation). It was found that they produced a protective effect in both cases. The results obtained were as follows:

- MM-waves produced favorable therapeutic and preventive effects on the survival rate and average life expectancy in all experimental groups;

- the protection efficacy depends on the irradiation procedure: the best protective effect (the death rate was zero) was

observed for a long-term *preventive* irradiation of healthy animals before they were infected;

- the protective preventive effect was potentiated when exposure time was extended to 7 to 17 days;

- MM-wave irradiation proved to be a sufficiently effective therapeutic means.

Besides experimental investigations, the researchers retrospectively analyzed the epidemiological situation of influenzal and acute respiratory viral infections in a group of patients who underwent MM-wave therapy with respect to gastric ulcer. The MM-wave course coincided with the epidemiological period of influenza epidemic caused by the influenzavirus A. The group of patients receiving MM-wave therapy was compared to the control group (comparable by the age, health state, and conditions of work). It was found that influenzal and acute-respiratory-disease rates in the group of patients receiving MM-wave therapy were smaller by a factor of 1.75 during the *epidemy* as compared to the control group.

Inasmuch as many diseases cause *secondary immunodeficiency*, many scientists pay special attention to the immunomodifying effect of MM-waves.

Gastric and duodenal ulcers, as well as many other diseases, are caused by an imbalance between an organism's aggression and its protective factors. Immunity ranks first among protective factors. In order to compare the efficiency of MM-wave therapy and conventional treatment of ulcer, nonspecific immunity (phagocytosis and lysozyme) and specific immunity (T lymphocytes, B lymphocytes, IgA, IgM, and IgG) were examined (Poslavskii MV., 1991). Although the ulcer healed over, the conventional pharmacotherapy did not enhance protective factors. When MM waves were applied, the ulcer healed over *without a keloid scar*. Furthermore, protective factors exhibited a pronounced normalizing effect. In particular, this concerned nonspecific and specific immunity. A dynamic observation of the patients revealed that their protective factors were at a maximum 3 months after the cure termination. Since MM waves produced a normalizing effect on an organism's protective factors, *preventive* MM-wave therapy was put forward.

When *atopic dermatitis* was treated using MM-wave therapy (Adaskevich VG., 1994,1995), the patients' immune state was monitored using a number of laboratory techniques. They

were as follows: an active T-lymphocyte count; total T-lymphocyte count; B-lymphocyte count; agar-gel radial immunodiffusion for the IgA, IgM, and IgG counts of blood serum; circulating-immune-complex (CIC) count of blood serum; as well as immunoenzymic analysis of the total IgE and allergen-specific IgE counts. Note the allergen-specific IgE includes antibodies against indoor, pollen, and food allergens. The treatment performed favored the positive dynamics and stable improvement of immunologic indices. This concerned both the cellular immunity (such as rosette-forming cells) and the humoral immunity (such as CIC, IgM, IgG, and IgE). Patients receiving conventional therapy exhibited virtually no changes in cellular and humoral immunity indices.

A research team (Gedymin LE, Erokhin VV, Bugrova K M et al., 1994) investigated the effect of MM-waves on the immune state of patients with *sarcoidosis of lungs*. Investigations were made at the Central Research Institute for Tuberculosis of the Russian Academy of Medical Sciences. The researchers counted T-lymphocytes and determined their functional and phagocytic activity. They also counted B-lymphocytes, immunoglobulins, as well as CICs in blood serum (both before and after the treatment). The application of MM-waves gave rise to a *universal* stimulation of functional activity of immunocompetent cells. They stimulated the phagocytic activity of macrophages in the granulomatosis-stricken region, in various lung regions, and in blood. Macrophage activation facilitated the elimination of CICs from the body. They were devoured by macrophages, and their content decreased in 87% to 91% of the patients after MM-wave therapy. This restored the blood flow in lungs. As is known, when the CIC count of blood decreases, it prevents microvessels of many organs from being damaged.

The last several years have seen a wide spread of *herpes-viruses*. This is associated with the absence of reliable prevention and drug therapy insufficiency. Furthermore, the number of immunodeficiency states is growing, which is caused by wide application of antibacterial and hormonal compounds. The immune state was examined when conventional treatment was combined with MM-wave therapy. The examination involved counting T lymphocytes, B lymphocytes, CICs, IgA, IgM, IgG, as well as studying the immune-response-modifier toler-

ance. It was found that MM waves produced an immunostimulating effect, which manifested itself in stimulated phagocytosis and T-lymphocyte activity. This is of great importance for prevention and treatment of diseases complicated by secondary immunodeficiency (Pulyaeva EL, Vetokhina SV., 1997).

At present, *urogenital inflammatory diseases* are also widespread in men and women. Most often, these diseases are caused by chlamydias, mycoplasmas, and ureaplasmas. A distinguishing feature of these microbes is their ability to cause stable immunodeficiency. When antibiotic therapy is combined with immunomodification, the recovery rate increases up to 70% (as compared to 30% to 50% after conventional therapy) (Elbakidze IL, Ordynskii VF, Sudakova EV et al., 1998).

It is known that immunosuppression exacerbates *acne*. Investigations were made of the effect of MM-wave therapy on the cutaneous microbiocenosis in vulgaris-acne patients. All the patients were recorded an immunogram showing cellular and humoral immunity indices before and after the treatment. It was found that conditionally pathogenic microbes did not grow on the skin of patients whose immunologic indices were normalized by MM-wave therapy. In these patients, clinical results were regarded as a recovery or significant improvement. In general, the immunologic indices of most patients exhibited positive dynamics, which was accompanied by an improved state of skin microbiocenosis (Donetskaya SV, Zaitseva SYu, Viktorov AM et al, 1996).

The experimental clinical investigations performed thus provided evidence that low-intensity MM-wave radiation has a pronounced immunomodifying effect.

The central nervous system (CNS) is the main regulatory system. It governs almost all processes occurring in a living being. Classical investigations into electromagnetic biology revealed that the CNS is the most sensitive system for electromagnetic fields (Kholodov YuA., 1966; Sidyakin VG., 1986). Studies of the CNS role in the realization of biological effects of low-intensity MM waves began at the earliest stage of MM-wave therapy formation.

Professor Yu. A. Kholodov and Professor N. N. Lebedeva have been heading experimental investigations at the Institute for Higher Nerve Activity and Neurophysiology of the then-U.S.S.R. and now-Russian Academy of Sciences since 1989.

These investigations deal with the sensory and subsensory (EEG) responses of healthy human beings to peripheral stimuli of low-intensity MM-wave radiation. Investigations of *sensory responses*, i. e., *electromagnetic sensitivity of human beings* (Lebedeva N N., 1993; Kholodov YuA, Lebedeva NN., 1992; Lebedeva NN, Sulimov AV., 1989; Kotrovskaya TI., 1996; Lebedeva NN, Kotrovskaya TI., 2001) yielded a number of interesting results. They are as follows:

- A human being reliably discerns MM-wave signals from sham signals.

- Human sensitivity to MM-waves depends both on his or her individual features and on the biotropic parameters of the field.

- Perception modality (such as pressure, touch, pricking, and burning) is evidence that MM-wave perception involves skin analyzers.

- The latent time of a MM-wave response is tens of seconds.

- MM-wave perception exhibits sensory asymmetry: it is different for left and right hands.

An analysis of subjective feelings in human beings demonstrated that a MM-wave stimulus "actuates" mechanoreceptors, nociceptors, and free nerve endings - unmyelinated efferent fibers without corpuscular structures at their ends. Evidently, we may ignore fast-adapting mechanoreceptors because they discharge within 50 to 100 ms after sending an adequate stimulus. Nonspecific and weak stimuli, such as low-intensity electromagnetic fields, can be perceived by receptors that are slowly adapting or that have a background activity (or when receptors combine these features). Of mechanoreceptors, such features are inherent in Ruffinie's endings, tactile disks, and Merkel disks.

The nociceptors (pain receptors) of the skin are free nerve endings with thin myelinated or unmyelinated nerve fibers. It was hypothesized that nociceptors can perceive electromagnetic signals. This hypothesis was based on a number of prerequisites. First, they were found to exhibit polyspecificity to MM-wave stimuli. Second, they revealed perception modality: pricking and burning, which are regarded by experts as "pre-pain". Third, electromagnetic sensitivity disappeared in people whose exposure site was treated with chloroethane that inacti-

vated pain receptors. Fourth, clinical practitioners observed that, when electromagnetic radiation was incident on a particular dermatome, it induced a sensory response in the corresponding diseased organ. This may arise from convergence of nociceptive efferent fibers from dermatomes of internal organs to the same neurons of pain pathways. This gives rise to skin hypersensitivity because visceral impulses raise the excitation of intercalary neurons, which leads to facilitation (relief).

An investigation was made of EEG responses of healthy subjects to a long-term (30- to 60-min) peripheral MM-wave irradiation. It was found that such irradiation produced changes in the spatiotemporal organization of cerebral biopotentials. The alpha rhythm exhibited a significant increase in its power in occipital cortical regions. Furthermore, the theta rhythm revealed an average increase in its coherence in central and frontal regions. Note, this increase was more pronounced in the right brain, independent of exposure site location (Lebedeva N N., 1993).

The effect of EHF radiation on the CNS can also be evaluated by studying *behavioral reactions*. For example, S. V. Khromova (1994) in her Ph.D. thesis demonstrated that EHF radiation can modify the behavior-reflex activity of rats. This phenomenon manifested itself both in the accelerated alteration of a developed conditioned food reflex and in the delayed impairment of a conditioned defense reflex.

Investigations of a *stress-protective effect* of MM-waves were made on animals at the State Research Center for Narcology, the Russian Federation Ministry of Health. Such investigations were carried out by Yu. L. Arzumanov with co-workers (Arzumanov YuL, Kolotygina RF, Khonicheva NM et al, 1994; Kolotygina RF, Khonicheva NM, Arzumanov YuL et al, 1997). The effect of MM-wave radiation on the CNS was evaluated by special tests. They were based on studying the inborn behavior that reflected various fields of motivation-emotion activities. In the case of a conflict-defense situation with stress, MM-wave radiation modified the behavior of an experimental group of animals in such a way that it was identical with the behavior of a passive control group.

A research team headed by Prof. N. A. Temur'yants achieved a pronounced antistress effect of MM waves (Temur'yants NA, Chuyan EN, Tumanyants EN, Tishkina OO,

Viktorov NV., 1993; Temur'yants NA, Chuyan EN., 1992). In their experiments, they studied the effect of MM-wave radiation on the development of hypokinetic stress in rats. As distinct from control animals, the experimental ones showed no decrease in the protective functions of blood after a 9-day hypokinesia. Furthermore, they revealed an increase in the examined indices (such as the cytochemical state of neutrophils and lymphocytes in peripheral blood) as compared to the control animals. However, the efficiency of antistress effect of MM-waves depended on the individual features of the higher nerve activity of rats. It was at a maximum in rats with a low and medium moving activity.

It was also demonstrated that MM-waves produce a *modifying effect* on the functional CNS state in human beings under simulated stress conditions (Lebedeva NN, Sulimova OP., 1994). This was proven by means of EEG spectrum-correlation analysis, psychological test findings, as well as cardiac-rhythm and exertion indices dynamics.

An investigation of the psychophysiological state of patients (Temur'yants NA, Khomyakova OV, Tumanyants EN, Derpak MN., 1997;) and development of new methods for inpatient *psychoemotional rehabilitation* (Krainov VE, Sulimova OP, Larionov IYu., 1997) revealed that MM-wave therapy relieves situational and personal anxiety, improves memory, raises attention, accelerates sensorimotor responses, as well as restores and stabilizes the psychoemotional state of human beings.

It was also found that MM-waves have an *energizing effect*. MM-wave therapy was administered in combination with light therapy to patients having a depressive symptomatology. These patients suffered from manic-depressive psychosis, cyclothymia, schizophrenia, as well as vascular and involutional psychosis. It was found that the combined treatment produced a favorable clinical effect in 97% of the patients. A distinguishing feature of patients who revealed a virtual recovery was a different degree of the anxiety component in the depression structure, irrespective of its nosological attribute. Furthermore, the vegetative nervous system revealed hyper-sympathicotonic phenomena. An improvement was observed when the vegetative nervous system had a mixed type and when apathy predominated in the syndrome structure (Tsaritsinskii VI, Taranskaya AD, Derkach VN, 1991).

Fundamental Biophysical and Physiological Mechanisms of Biological Effects of Low-intensity MM-wave Radiation

The results of tentative experimental and theoretical investigations of biological effects of MM waves were summarized at a special session of the General Physics and Astronomy Division of the U.S.S.R. Academy of Sciences in 1973. This session was initiated by Academician N. D. Devyatkov, and it was held in order to familiarize the scientific community with unorthodox MM-wave-induced biological effects.

The first attempt to explain the resonance pattern of the MM-wave influence was made by V. I. Gaiduk and L. G. Koreneva in 1970. By way of example, they considered hemoglobin. They investigated the effect of MM-wave radiation on distal histidine E7. It was shown theoretically that distal histidine E7 - in engineering mechanics, an analog for histidine is "a beam fixed at one end" - has an intrinsic resonance frequency, which falls within the EHF band. Although this work had no continuation, the idea of a direct resonance interaction between radiation and biological systems was developed in other studies.

As far as 10 years ago, our concepts of biophysical mechanisms of the interaction between low-intensity MM-waves and biological systems were reduced to basic ideas ensuing from the analysis of biological effects enumerated in Section 2. In brief, they can be described as follows. The primary reception of MM-waves occurs in a thin layer of an exposed surface. This is because all biological objects contain water, which is the strongest MM-wave absorber. The absorption mechanism is very simple. Water molecules possess a great dipole moment - approximately 1.9 D, whereas their rotational frequencies cover a wide range, the EHF band included. Hence, there are ideal conditions for absorption of MM-wave radiation by water molecules. The wave energy is converted into the kinetic energy of water molecules: it is transformed mainly into the translational degree of freedom. In addition, the wave energy is converted into the rotational and librational degrees of freedom. By virtue of molecule collisions, the acquired energy is rapidly thermalized. The thermalization time is on the order of 10^{-13} s. Apparently it is this energy thermalization that causes the convective motion of liquid and

gives rise to the capillary effect. Apart from that, water molecules "heated" by EHF radiation produce an effect on hydration of protein molecules. As a result, they change from a functionally passive to functionally active state. After that, a trigger mechanism may come into action. It initiates biochemical reactions that are governed by protein molecules. Note it is this mechanism that may govern the synthesis of biologically active substances (including the immunocompetent ones), produce an effect on cell metabolism, stimulate the ATP synthesis, etc. It can be hypothesized that MM-waves are "embedded" in basic vital processes according to this pattern.

Now let us consider a key idea that was suggested by EHF-therapy founders. The matter concerns the excitation of acoustoelectric oscillations in plasma membranes. As was mentioned, coherent Frohlich oscillations and acoustoelectric membrane oscillations evidently represent the same physical phenomenon. However, it is infeasible to check this statement at present: modern measuring equipment falls short of approximately five to seven orders of sensitivity. Nevertheless, the idea of plasma membrane oscillations is very fruitful by itself. Let us note that it has been confirmed by other independent theoretical estimates. They were obtained when the problem of electric stability of a native plasma membrane was attacked. The membrane functions normally under giant electric intensities - on the order of 10^5 V cm^{-1} (!). This issue is carefully considered in (Devyatkov ND, Golant MB, Betskii OV., 1991). Note pushing off this fundamental idea, one can explain almost all known experimental phenomena.

Completing our narration about the early formation of biophysical mechanisms of the interaction of MM-waves with biological systems, we shall consider the problem of MM-wave perception by the entire being. The matter concerns the role of the skin receptor system, spinal cord, and CNS in the mechanisms of low-intensity MM-wave identification in the presence of intrinsic noise. It is also necessary to assess the significance of information carried by the waves.

When such signals are perceived, a living being encounters two problems. First, a mammal being (the human being included) has no special-purpose system to perceive electromagnetic stimuli. Second, low-intensity MM-wave radiation can be attributed to weak and extremely weak influences.

There are a few physical mechanisms that enable biological systems to "receive" weak signals. Let us dwell on some of them with due account of MM-waves.

The key idea that biological objects can sense weak electromagnetic fields is consistent with a hypothesis that MM-waves are "native" to biological objects and that biological objects use these waves to govern their vital functions. As was mentioned, this concept was proposed theoretically by a team of Russian scientists headed by N. D. Devyatkov in the mid 1960s. Thereafter, this hypothesis received an indirect theoretical corroboration in an independent study made by a prominent German physicist - H. Frohlich.

Electric dipoles of a plasma membrane generate narrow-band electromagnetic waves whose power is about 10^{-23} W. Hence, living cells should be sensitive to such a small power. Furthermore, according to the reciprocity principle, cells should be sensitive to *external* radiation that has such a power. The effect of amplification of weak external electromagnetic fields may take place immediately in the skin (Betskii OV., 1996). A volt-ampere dependence of slit contacts has a domain with negative differential conductivity. The existence of this domain is a sufficient and necessary condition for realization of input signal amplification. Especially large gain factors - on the order of 30 to 60 dB by power - can be achieved by means of regenerative and superregenerative amplification.

Some researchers (Sinitsyn NI, Petrosyan VI, Yolkin VA, Devyatkov ND, Gulyaev YuV, Betskii OV., 1999) discussed the new physical mechanism of high sensitivity of water-containing biological objects to weak electromagnetic fields (on the order of units of microwatts). This mechanism is based on the generation of intrinsic resonance frequencies by water clusters. These frequencies were discovered by Saratov physicists. They fall within a frequency range from about 50 to 70 GHz. When biological objects are exposed to weak electromagnetic waves at these frequencies, their water-molecule oscillators lock on to the external signal frequency and amplify the signal by means of synchronized oscillation or regenerative amplification. Waves at these frequencies pass through aqueous media almost without loss - like the Davydov soliton waves (Davydov AS., 1984). As a result, they penetrate deeply into an exposed object and involve deep structures in the interaction process.

Another approach was also taken to explain the sensitivity of biological objects to weak electromagnetic fields. It is based on the "water memory" phenomenon (Betskii OV., 1998). The essence of this phenomenon is as follows. It is known that liquid water is structured and that it consists mainly of clusters, with water molecules being bound to each other by hydrogen bonds. It was found that a hydrogen atom that is located between the two nearest oxygen atoms can take up one of two positions: near either of the oxygen atoms. One of the positions is stable, whereas the other is not. The energy of hydrogen-atom transition from the stable to unstable state corresponds to that of an EHF quantum. As a result, hydrogen atoms may change to unstable states under EHF radiation. They may thereafter return to their stable states with inevitable reemission of EHF quanta ("*water memory*"). Hence, water acts as a low-intensity molecular oscillator of electromagnetic waves in the EHF band. As was shown in (Fesenko EE, Geletyuk VI, Kasachenko VN, Chemeris NK., 1995), water molecules may stay in the unstable state for a long time - on the order of several weeks.

A physical phenomenon that was discovered 20 years ago, or thereabouts, provided new and unexpected explanations of the mechanism of the effect of weak signals on biological systems. This physical phenomenon was called *stochastic resonance*, or stochastic filtration in radio engineering. The most complete information about the *stochastic resonance* and about its possible applications, including biology and medicine, is presented in an unorthodox review (Anishchenko VS, Neiman AB, Moss F, Shimanskii-Gaier L, 1999). In the early 1980s, researchers discovered that the presence of noise sources in nonlinear dynamic systems can provide such operation modes of the systems that are new in principle. These operation modes cannot be realized in the absence of noise. Noise was demonstrated to play a "favorable" role in nonlinear systems by means of enhancing the motion order strength in the systems. Furthermore, it was shown to improve system performance, for example, "to form more regular structures, to increase the coherence degree, to raise the gain factor, and to increase the signal-to-noise ratio". Let us remember that according to the generally accepted, classical, point of view specialists always regarded the presence of noise as a negative

factor. Noise always had to impair the behavior of dynamic systems, and it always had to be "controlled." "*Stochastic resonance* specifies a group of phenomena such that a nonlinear system's response to a weak external signal increases considerably with an increase in noise intensity. Furthermore, the effect shows a maximum at some optimum noise level".

Numerous experimental studies were afterward performed on various physical objects. The results obtained made it possible to draw a principal conclusion: *stochastic resonance is a fundamental physical phenomenon that was unknown earlier; it is observable in nonlinear dynamic systems and makes it possible to control their main parameters*. Note *stochastic resonance* can also take place in non-dynamic or threshold systems. It can be realized in the presence of external noise or in the presence of internal noise of an investigated system. This is of special interest for biological systems, which meet the requirements for *stochastic resonance*.

A more sophisticated problem is to investigate and comprehend the *physiological mechanisms* of biological and therapeutic effects of low-intensity MM-waves at the level of an entire organism. This is owing to the fact that the investigated object - the human being - is a very complex biological system. It possesses myriad positive and negative feedback loops and regulation levels (Lebedeva NN., 1997). To begin with, one needs to analyze the primary *physiological* targets present in the MM-wave exposure site. As is known, MM-waves penetrate into the human skin at a depth of 300 to 500 μm . In other words, they are absorbed almost completely in the epidermis and the top dermis. Hence, MM-waves directly influence CNS receptors (such as mechanoreceptors, nociceptors, and free nerve endings), APUD cells (such as the diffuse neuroendocrine cells, mastocytes, and Merkel cells), and immune cells (such as the T-lymphocyte skin pool). In addition, these waves produce a direct effect on the microcapillary bed and biologically active points.

It is apparent that these five primary physiological targets are the five "entry" gates. They determine the involvement of corresponding systems in realization of biological and therapeutic effects of MM-wave radiation. MM-radiation acts on every basic regulation systems of an organism as a peculiar triggering factor. This has been confirmed by many clinical investigations. The di-

rect and simultaneous "triggering" of the aforementioned systems initiates a complex mediate influence on other organs and systems (such as the hematogenous, humoral, vegetative nervous systems). As a result, a MM-wave-induced reaction involves the entire being. The features of this reaction depend both on the *biotropic* parameters of the MM-wave stimulus and on the functional state of the human being. MM-wave radiation produces both nonspecific and specific effects. The latter include wound healing, injury sanitation, tissue regeneration, pain relief, itch mitigation, hyperemia elimination, etc.

At present, *a nonspecific effect is regarded as a reaction of enhanced nonspecific resistance of an organism*. In turn, this initiates adapting and antistress reactions of higher reactivity levels (Garkavi LKh, Kvakina EB, Kuz'menko TS, 1998).

A promising approach was also developed by Chernavskii DS, Karp VP, Rodshtat IV (1999). The authors of that work made an attempt to create a unified concept. To this end, the entire being's response to low-intensity MM-waves was bound up with some principal elements of pattern-recognition theory. The authors did it with respect to the problem of neurocomputing. The key notions of this concept are autodiagnosics (when MM-waves begin to interact with an organism) and autotherapy (when an organism uses autodiagnostic findings to begin the production of medicinal agents). These functions are realized with the aid of lamellar formations of the spinal cord (the Rexed lamellae). They preprocess and identify information about the external stimulus (MM-waves). Hence, these formations act as a peculiar neurocomputer that prepares specific information to actuate systems that govern and maintain bodily homeostasis.

Application of Low-intensity MM-wave Radiation in Medicine

In the early 1970s, Academician N. D. Devyatkov initiated a program of clinical evaluation of MM waves in respect of treating various diseases. This program was approved by the U.S.S.R. and R.S.F.S.R. Ministries of Health and was executed in a number of medical establishments. The MM-wave technique was tested in more than 60 clinics, including large medical centers, such as the All-Union Cancer Research Center of the Russian Academy of Medical Sciences, the Central

Research Institute for Traumatology and Orthopedy of the Russian Federation Ministry of Health, the P. A. Hertsen Moscow Cancer Research Institute, as well as clinics affiliated with the State Medical University, Moscow Medical Academy, and Moscow State Institute for Dentistry. The results obtained provided evidence for high efficiency of MM-wave therapy for the following diseases: cardiovascular (stable and unstable stenocardia, hypertonia, and myocardial infarction), neurological (pain syndromes, neuritis, radiculitis, and osteochondrosis), urological (pyelonephritis, impotence, and prostatitis), gynecological (adnexitis, endometritis, and uterine neck erosions), dermatological (neurodermite, including psoriasis, streptoderma, and acne), gastroenterological (gastric ulcer, duodenal ulcer, hepatitis, and cholecystopancreatitis), stomatological (periodontosis, periodontitis, some types of stomatitis, and periostitis), as well as oncological (to protect the hematogenous system and to remove side effects of chemotherapy).

The experience of applying MM-waves in clinical practice revealed no ultimate side effects. MM-wave therapy went well with other therapeutic techniques (such as pharmacotherapy, physiotherapy, etc.). Furthermore, it exhibited no absolute contraindications. As distinct from drug therapy, MM-wave therapy had no side effects.

MM-wave therapy reveals some features such as noninvasiveness, polytherapeutic effect, monotherapeutic effect, antistress effect, immunomodifying effect, and painkilling effect. Currently, low-intensity MM-wave radiation (MM-wave therapy) finds wide application in medicine. It is employed both to treat and prevent a wide gamut of maladies.

The first report on the application of electromagnetic MM waves in treatment of **cardiovascular diseases** came to light as far back as 1980. It was demonstrated that MM-wave therapy produced a clinical effect, which was verified by laboratory and instrumental findings. Apart from that, researchers developed techniques for individual selection of MM-wave treatment. It was shown that MM-wave therapy can substantially reduce the dose of antianginal compounds. Moreover, a nitrate therapy was stopped completely in patients having exertion *stenocardia* of the first and second functional classes. In such patients, MM-wave therapy proved to be most effective in treating both painful and painless myocardial ischemia (Lyusov VA, Lebe-

deva A Yu et al, 1995-1998;). By the end of a MM-wave therapy course, 80% of the patients revealed a positive clinical effect. The application of MM waves reduced the number of episodes of painful and painless myocardial ischemia. Hence, MM-wave therapy produced both painkilling and antianginal effects.

Unstable stenocardia may take a bad course, resulting in myocardial infarction, sudden death, or chronic stenocardia. The clinical application of MM-wave therapy was found to be effective in 60% of the cases. The treatment was successful even when MM waves were used as a *monotherapy*. Being combined with pharmacotherapy, MM-wave therapy increased the rate of positive clinical effects. After MM-wave therapy myocardial infarction developed in none of the patients with unstable stenocardia (Lebedeva A Yu, 1997, 1998). Thus, the involvement of MM-wave therapy in the combined treatment of unstable stenocardia decreased the risk of myocardial infarction.

When MM-wave therapy was administered within the first hours of *myocardial infarction* and its complications, it decreased the number of episodes of acute left ventricular failure. It also decreased the rate of postinfarction stenocardia and chronic circulatory deficiency. It was also found that patients who received MM-wave therapy revealed a raised degree of antioxidant protection.

MM-wave therapy makes possible to correct for immunologic disorders in patients with cardiac ischemia. This can be of value not only for treating this nosology, but also for treating the atherogenic process on the whole (Lebedeva A Yu, 2000-2003).

Microcirculatory disorders are a serious element of cardiovascular pathologies. Tissue perfusion can be impaired not only in the case of atherosclerosis of main vessels but also in the case of microcirculatory blocking. The latter is caused by microscopic thrombi and inelastic erythrocytes.

It was found that the MM-wave therapy produced a significant decrease in the total conjunctival index as well as in the index of vascular and intravascular changes. It also enlarged the arteriole caliber, increased the number of functioning limbic ansae and decreased the content of erythrocyte aggregants in venules. The results obtained revealed blood flow improvement in affected arteries and improved blood circulation in ischemia-stricken regions.

Clinical evaluation of low-intensity MM-wave radiation and development of therapeutic techniques for **cancer treatment** have been carried out since 1980. These investigations were pursued at the P. A. Gertsen Moscow Cancer Research Institute. They were made in patients with *mammary cancer*. The combined therapy (chemotherapy and MM-wave therapy before, during and after chemotherapy) was used (Pletnev, 1989-1995).

When the combined treatment was finished completely, 95.1% of the patients exhibited a *satisfactory general state* (without blood-circulation stimulants). When the chemotherapy course (without MM-wave irradiation) was finished, 74.2% of patients revealed an *unsatisfactory general state* as well as a reduced leukocyte count of blood. This occurred in spite of the fact that the patients received blood transfusion and blood-circulation stimulants.

The ability of MM-waves to normalize the leukocyte count was investigated in patients with *leukopenia*. The investigation was made in 900 patients whose initial leukocyte count of blood was less than 3,000 (from 2,300 to 2,700). A course of treatment lasted for 12 days. The sessions were administered daily. After the cure, the leukocyte count of blood was normalized in 80% of the patients. This allowed the patients to undergo a complete course of chemotherapy. The proliferative activity of the bone marrow was found to grow 4 to 5 days after the MM-wave therapy commencement. Hence, the clinical findings show that MM-waves allow cancer patients to undergo a complete course of chemotherapy without a significant decrease in their blood indices and without blood-circulation stimulants.

Melanoma is a highly malignant tumor of the skin. It spreads to other parts of the body via the bloodstream or the lymphatic channels. The rate of this disease has increased over the last several owing to environmental pollution. Melanoma remains resistant to antineoplastic compounds. After surgical excision skin melanoma metastases occur in 20% to 25% of primarily treated patients within 6 to 18 months. MM-wave radiation was employed to prevent relapses and metastases in patients with primary melanoma of the skin after surgical treatment. The clinical experience gained demonstrated a beneficial effect of MM waves. Dynamic observation lasted for

9 to 18 months. None of the patients revealed relapses or metastases. Apparently, MM-wave irradiation stimulated the immune system and thus enhanced the individual's natural antineoplastic protection.

Apart from that, scientists of the P. A. Gertsen Moscow Cancer Research Institute studied the effect of MM-wave radiation on the course of wound processes - sutured and open wounds (in 1,302 patients). The results obtained revealed that MM-wave radiation produced a favorable effect on wound healing. The patients noted pain and discomfort alleviation in the wound. At the first stage of wound process MM-wave irradiation suppressed necrosis and perifocal inflammation. An antiphlogistic effect of MM-wave radiation was most pronounced in patients with sutured wounds. None of the patients subjected to MM-wave irradiation revealed the opening of sutures. Presumably, MM-waves recovered microcirculation and effective receptors, which normalized wound healing autoregulation. It is significant that MM-wave-based wound healing did not result in ugly scars or keloids. This is of special importance for facial treatment.

When MM-wave radiation was used to heal open wounds it was obtained that granules revealed an early maturation- on the third to fifth day, overall mature granulation expedited wound closure by 5 to 7 days and granulation overgrowth was not observed. MM-wave radiation facilitated wound epithelization. MM-wave radiation gave rise to optimum wound healing, which curtailed the healing by 3 to 5 days.

The clinical studies of MM waves applied in **traumatology** and **orthopedy** were launched at the N. N. Priorov Central Research Institute for Traumatology and Orthopedy. Since 1987, this technique has been used there in thousands of patients with various *bone-muscular pathologies*. The latter include serious shotgun wounds of limbs, which are often encountered in the Russian Federation. Between 1987 and 1990, this technique was used to treat severe war pathologies of the locomotor system under extreme conditions. MM-wave therapy was approved by the Central Military Hospital of the Defense Ministry of the Afghanistan Republic (the N. N. Priorov Central Institute for Traumatology and Orthopedy had direct scientific contacts with this hospital during that time). MM-wave therapy was also applied to the victims of the Armenian earthquake, various natural disasters,

and diverse catastrophes. They were also treated at the N. N. Priorov Central Institute for Traumatology and Orthopedy (Kamenev YuF et al, 1989-1997).

The stimulating effect of MM-waves on cell growth is not restricted to cutaneous fibroblasts and blood lymphocytes. Evidently, this effect has a universal character and involves cells of various tissue architectures.

When treating orthopedic and traumatic patients, MM-waves should produce an effect on cellular growth regulation and cytodifferentiation. This is essential to stimulate reparation processes in the affected region. Over the last decade, MM-therapy has been firmly established as one of the most effective methods of conservative treatment of orthopedic, traumatic, and surgical patients for treatment of patients with *trophic* and *tissue-viability disorders* (typical of *shotgun wounds*). An investigation was made of applying MM-therapy to patients with *neurodystrophic changes* in tissue trophics.

MM-wave therapy was also found to be highly effective in treating chronic (shotgun and traumatic) *osteomyelitis* and *pressure sores*. It was also demonstrated both to decrease the microbial semination of wounds and to facilitate the jointing of bone fractures.

MM-wave therapy efficiency was investigated at the Central Research Institute for ***Tuberculosis***. At different stages, basic chemotherapy was combined with a course of MM-wave therapy. Experimental and clinical studies revealed that low-intensity MM-waves produced a normalizing effect on many clinical parameters, such as the formed elements of blood and blood plasma proteins. In addition, MM-waves stimulated lymphocyte proliferation in immunogenic organs. As a result, macrophages present in the bone marrow actively invaded tuberculosis-stricken organs (mainly, the lungs) to normalized external respiration and regional circulation in them. Additionally, macrophages favored the homeostasis recovery during chronic infections, such as *tuberculosis* (Gedymine LE, Erokhin VV, Bugrova K M et al, 1994-1998).

MM-wave therapy was also employed in the complex treatment of *sarcoidosis* of lungs and intrathoracic lymph nodes. It is significant that MM-wave therapy reduced the dose of corticosteroid compounds: they were taken at a dose of 10 to 15 mg every other day. Moreover, corticosteroid compounds

were completely cancelled in half of patients with firstly-diagnosed carcoidosis.

Unfortunately, the limited space of this publication disallows us to tell the reader about all MM-wave therapy capabilities. Clinical studies have reliably verified the high efficiency of this technique with respect to more than 120 nosologic forms (and this number is becoming larger). Evidently, MM-wave therapy is a method about which ancient physicians used to dream: it "treats a person, not a disease".

The application of MM waves in agriculture – plant-growing and cattle-breeding

In contrast to chemical methods MM-radiation is environmentally appropriate technology what is very important for farming industry. In addition, the possibility to increase the productivity (crop yield, milk yield, and biomass yield) is always topical in agriculture.

The investigations carried out as early as 1989 showed that the irradiation of low-intensity MM-waves stimulates the ATP synthesis in a green leaf, i.e. stimulates enzymatic activity. Based on this experimental fact specialists performed the MM-irradiation seed technology to increase seed germination, to stimulate the growth of seedling and increase the crop yield. At that the *plant-growing* productivity increases above 35-40 %. Investigations have shown that under greenhouse conditions one can find MM-wave irradiation regimes that produce favorable physiological effects virtually for any culture. In addition, the plants grown from MM-wave treated seeds showed no signs of abnormal morphological changes. The MM-irradiation seed technology was efficiently used for the plant-growing productivity increase of cereals, vegetables and melons and gourds. It was demonstrated that irradiated seeds had higher germination energy and smaller growth time they started to bloom sooner and yielded more impregnated seed-buds.

In recent years low-intensity MM-waves have found wider and wider application in *cattle-breeding* and *veterinary* science when treating for various diseases of animals (cows, sows, stud rams, calves and sports horses). So common methods for treating cows for the inflammation of mammary glands – mastitis (25% of cows are subjected to this disease) are based on administering antibiotics, sulphonylamides, nitrofuranes, or

their combinations to an animal; the remainder of these drugs gets into milk, thus disturbing the technological processes in dairy industry and interfering with producing ecologically clean foodstuffs. The second problem in dairy farms is a rather frequent postnatal disease of endometritis (inflammation of endometrium); there are also a large number of drugs to treat for this disease. During the treatment and 2-8 days later, milk obtained from these cows is not edible. The treatment for these diseases without drugs or with decreased amount of drugs, as well as speeding up a recovery process, is an important problem in veterinary medicine and science.

In St. Petersburg MM-wave methods were approbated in *veterinary medicine* for treating for the following diseases and traumatic injuries in horses: cut and lacerated wounds, incised wounds, scalped wounds; purulent pododermatitis; fibrous tendinitis; deep abscess after opening; chronic synovitis of fetter joints; acute serous inflammation of galloping joints; purulent bursitis; purulent dermatitis; gastritis; bronchitis. To treat for extensive wounds and purulent-inflammatory wounds, a combination of MM-wave therapy and drug therapy was applied.

In addition to the cases listed above, MM-wave irradiation was used for preventing postcastration complications. Compared with conventional methods, the MM-wave irradiation did not lead to the development of edemas and profuse hemorrhage and significantly reduced a rehabilitation period.

The application of MM-waves to virtually healthy animals corrects their emotional status, accelerates the recreation after heavy work, removes nervous stress, and temporarily stimulates the immune system.

The approbation of the MM-wave therapy in veterinary medicine as applied to treating horses has shown high efficiency of the treatment, the absence of negative side effects, and good tolerability in horses of different ages.

The application of MM waves in biotechnology

Favorable results were obtained in the application of MM-waves in *biotechnology*. The first works in this direction have demonstrated that MM-wave irradiation changes the character of vital functions in microorganisms: it affects the cell division, enzyme synthesis, growth rate and yield of biomass, and may cause morphological changes and changes in the biological

properties of microorganisms. Thus MM-waves can change the parameters of vital functions in microorganisms, regulate their physiological activity, and mobilize their resources. For example, the irradiation of a water suspension of sporiferous fungus *aspergillus* can increase its *fibrinolytic activity* by a factor of 2.5-3; the irradiation of a yeastlike fungus *endomycopsis*, which is used as a producer of amylolytic enzymes, can increase the amylolytic activity of this fungus by 50%. The MM-irradiation of pathogenic microorganisms changes the antibiotic sensitivity of different origin staphylococcus strains, as well as affects the immunobiological activity of the antigens obtained from these microorganisms. It is interesting to note the character of changes in the biosynthetic properties of microorganisms depends on the biotropic parameters of MM-wave radiation (frequency, intensity, etc.); sometimes the effect changes its sign (for example, in the processes "activation ↔ inhibition") depending on the radiation parameters.

Ecology and MM-waves

One of negative ecological factor is electromagnetic pollution. Last years anthropogenic electromagnetic fields (radar stations, mobile phones, domestic electrical installations, power transmission lines etc.) as cancer genesis source are actively studied in industrialized countries. Low intensity MM-waves may be used to neutralize the harmful action of various electromagnetic fields. The MM-waves allow us to protect radar stations and in-plant personnel. Experimental data obtained demonstrated the correction of EEG changes arose during mobile phone use by embedded miniature MM-generator inside tube (Betskii O.V., Lebedeva N.N., Kotrovskaya T.I., 2004). MM-therapy is pollution-free method and does not cause allergic reactions. MM-waves use in agriculture eliminates negative chemical affect on environment. Number of researches reported that MM-radiation compensates the harmful ecological effect by host defenses activation.

Conclusions

Summarizing the results of the 30-year study of biological effects of low-intensity MM-waves, we can say the following. As it often happens, applied research and commercialization have outdistanced fundamental investigations. The wide

application of MM waves in medicine, biotechnology, animal husbandry, and plant cultivation has taken a giant step forward. By this time, Russia has manufactured more than 10,000 MM-wave therapy devices, organized more than 2,500 MM-wave therapy rooms, and treated over 2,500,000 patients. Since 1992, thirty-six volumes of the Journal on *Millimeter Waves in Biology and Medicine* (*Millimetrovye Volny v Biologii i Meditsine*) have been published as well as 13 symposia on *Millimeter Waves in Biology and Medicine* and 11 workshops have been held. During this time, we have issued 13 volumes of symposium and workshop proceedings, 4 monographs, 3 popular scientific brochures, and more than 2,600 articles. Furthermore, our scientific attainments have been protected by 22 Russian Federation patents. In the year 2000, we were awarded the Russian Federation State Prize in Science and Technology for our research in this field of science.

However, scientists - biophysicists, physiologists, and physicians - carry on their further scientific investigations into the mechanism of biological effects. By now, they have approached a more complete understanding of the role of low-intensity MM-wave radiation in the vital processes of biological systems at different organization levels.

CONTENTS

Introduction	5
1. Physical parameters and biophysical effects of microwaves	11
1.1. Frequency range of electromagnetic fields (EMF)	11
1.2. Electromagnetic waves in electrodynamic systems	14
1.3. Artificial and natural sources of millimeter range EMF	23
1.4. Physical and biotropic parameters of EMF	35
1.5. Sensitivity of biological objects to weak EMF	36
1.6. Water and microwaves («water memory»)	54
1.7. Microwave interactions with water and solutions	65
2. Main results of experimental study of low-intensity microwave action on biological systems	70
2.1 Experimental research	70
2.2 Experimental-clinical research	77
2.3 Experimental research of microwave nanosecond pulses with high peak power	83
2.4. Biological effects of low-intensity microwave radiation	93
3. Mechanisms of interaction of low-intensity microwaves with living systems	101
3.1. Primary effects of interaction	101
3.2. Biophysical mechanisms (original authors concept)	104
3.3. Physiological mechanisms	112
4. Application of low-intensity microwaves in non-traditional fields	118
4.1 Application of low-intensity microwaves in medicine	118
4.2. Microwaves in agriculture	146
4.3. Microwaves in biotechnology	156
4.4. Low-intensity microwave correction of changes in bioelectrical activity of human brain, caused by EMF of mobile phone	165
5. Apparatus for application of microwaves in non-traditional fields	170
5.1. Therapeutic apparatus	170
5.2. Medical-diagnostic complexes	186
5.3. «SHARM»- complex of medical equipment for functional diagnostics and microwave correction of human organism	191
5.4. Apparatus for irradiation of water and solutions	203
5.5. Future development of microwave equipment	206
Summary	208
References	213

Научная серия
«Информационные технологии и живые системы»
Редактор
докт. физ.-мат наук **В. В. Кислов**

Миллиметровые волны и живые системы

Олег Владимирович Бецкий
Владимир Владимирович Кислов
Наталья Николаевна Лебедева

Изд. № 16. Сдано в набор 30.09.04.
Подписано в печать 28.10.2004 г. Формат 84×108 1/32
Бумага офсетная. Гарнитура Book Old Style.
Печать офсетная.
Печ. л. 8,5. Тираж 1000 экз. Зак. № 5237.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных диапозитивов
в ОАО «Можайский полиграфический комбинат».
143200, г. Можайск, ул. Мира, 93.

Издательство «САЙНС-ПРЕСС».
107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6.
Тел./факс: 921-48-37; 925-78-72, 925-92-41.
E-mail: iprzhr@online.ru
www.webcenter.ru/~iprzhr