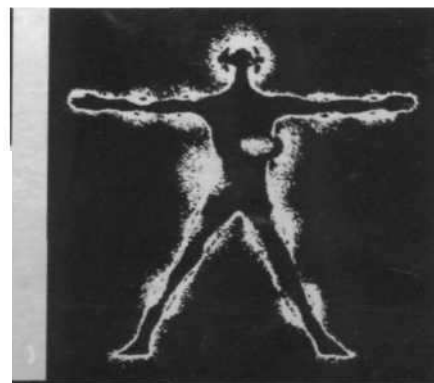




ISSN 1560-4136

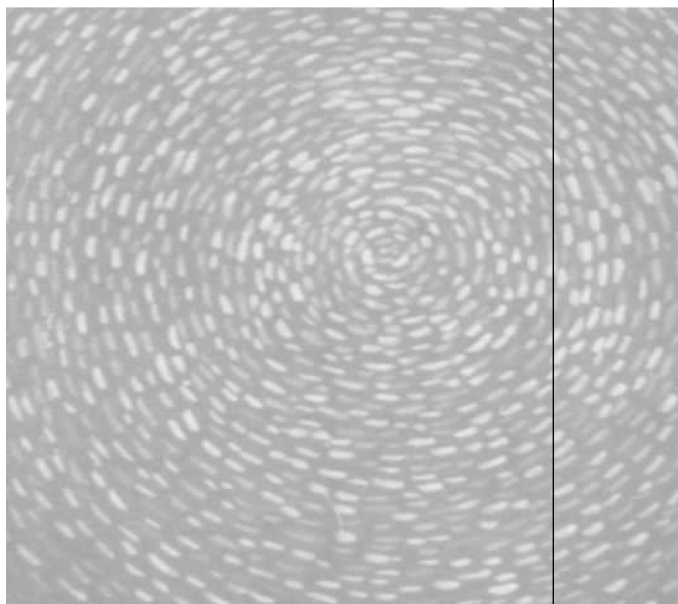
БИОМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



8'2003

www.webcenter.ru/~iprzhr/

*Номер посвящен 50-летию Института
радиотехники и электроники Российской
Академии наук*



Тел./факс: (095) 925-9241 E-
mail: iprzhr@online.ru
<http://www.webcenter.ru/~iprzhr/>

Журнал переводится на английский язык
и издается компанией Begell House, Inc. под названием
Critical Reviews in BIOMEDICAL ENGINEERING

Пионерские работы по миллиметровой электромагнитной биологии, выполненные в ИРЭ РАН

О.В. Бецкий

% Представлен обзор научных исследований, выполненных в ИРЭ РАН, по миллиметровой электромагнитной биологии.

The review of scientific achievement in area of millimeter of electromagnetic biology received in Institute of radio engineering and electronics of RAS is resulted.

Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003, №8, С. 11-20.

Введение

В сентябре 2003 г. исполняется 40 лет со дня проведения в ИРЭ АН СССР (в настоящее время - ИРЭ РАН) научного семинара, посвященного обсуждению необычных свойств низкоинтенсивных электромагнитных полей миллиметрового (крайне высокочастотного — КВЧ) диапазона применительно к процессам функционирования биологических организмов. К этому времени в НИИ МЭП СССР «Исток» (теперь это - ФГУП «НПП Исток») была завершена научно-исследовательская работа по разработке первого в мире широкополосного генератора миллиметровых (ММ) волн на основе вакуумных приборов - ламп обратной волны с продольным магнитным полем (ЛОВ-О). Семинар был поставлен по инициативе Н. Д. Девяткова - члена-корреспондента АН СССР, одного из основателей ИРЭ АН СССР, научного руководителя НИИ «Исток» и заведующего отделом 16 «Сверхвысокочастотная электроника» ИРЭ АН СССР.

В 1965 г. вышла в свет знаменитая работа [1], в которой сообщалось о перекрытии миллиметрового (ММ) и субмиллиметрового (субММ) диапазонов с помощью ЛОВ-О, и уже в 1966 г. была опубликована первая научная работа, о влиянии ММ-волн на микрофлору воздуха помещений [2].

Таким образом, в середине 60-х годов впервые появилась возможность обсуждать на научной основе целый ряд вопросов по проблеме влияния ММ-волн на биологические объекты различной сложности - от физических (физиологических) механизмов воздействия до гигиенического нормирования. Миллиметровая тематика впервые нашла отражение в известных книгах отечественных авторов З.В. Гордон и АС. Пресмана [3, 4]. И это не удивительно, так как авторы этих книг, ведущие сотрудники Института гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР (теперь - это ГУ НИИ медицины

*Олег Владимирович
Бецкий—*

*докт. физ.-мат. наук, проф.,
зав. каб. ИРЭ РАН, ген.*

*директор Медико-технической
ассоциации КВЧ (Москва),*

*лауреат Государственной премии РФ
в области науки и техники.*

*Научные интересы: электроника СВЧ и
КВЧ, исследование механизмов
взаимодействия низкоинтенсивных элек-
тромагнитных ММ-волн с
биологическими объектами*



труда АМН РФ), активно сотрудничали с научными коллективами, которыми руководил Н.Д. Девятков.

В конце 60-х - начале 70-х годов различные научно-исследовательские работы по проблеме миллиметровой электромагнитобиологии были поставлены по инициативе Н.Д. Девяткова в десятках НИИ и медицинских организаций СССР (заметим, что термин «электромагнитная биология» был введен в научный обиход А.С. Пресманом [3]). Первые оригинальные результаты по этой проблеме были представлены на Научной сессии АН СССР, организованной Отделением общей физики и астрономии в 1973 г. [5]. Так были заложены основы нового междисциплинарного научного направления, возникшего на стыке СВЧ-электроники, биологии, биофизики, медицины и других направлений в области естественных наук и научного приборостроения.

В 1966 г. в ИРЭ АН СССР, в отделе «Сверхвысокочастотная электроника», была организована научная лаборатория, перед которой была поставлена задача изучения биофизических механизмов взаимодействия низкоинтенсивных ММ-волн с биологическими объектами. Первым научным руководителем этой лаборатории был назначен В.И. Гайдук. В настоящее время эту лабораторию возглавляет автор данной статьи. Лаборатория насчитывает 17 научных сотрудников, среди которых 3 доктора и 7 кандидатов наук.

Рассмотрим кратко основные достижения, полученные, в основном, в отделе «Сверхвысокочастотная электроника».

Научные результаты в области миллиметровой электромагнитной биологии

С самого начала работ по миллиметровой тематике внимание исследователей было обращено на то обстоятельство, что мощность электромагнитной волны должна быть достаточно малой, что исключало бы доминирующую роль тепловых эффектов. Авторы работы, таким образом, **впервые поставили вопрос не об энергетическом, а об информационном (по Пресману) воздействии низкоинтенсивных электромагнитных волн на биологические объекты.** Такой подход оказался весьма продуктивным не только в методическом, но и в научном отношении. Первые солид-

ные научные результаты по миллиметровой тематике были представлены в [6-9].

В последующие годы основное внимание специалистов, занимающихся в ИРЭ миллиметровой тематикой, было направлено по-прежнему на выяснение физических (биофизических) механизмов воздействия низкоинтенсивных ММ-волн на биологические объекты различной сложности, а также поиск направлений практического использования ММ-волн в разных областях науки и техники. Большое научное и методическое значение имело сформулированное Н.Д. Девятковым и его коллегами из ИРЭ и НПП «Исток» положение о том, что **возможность активного воздействия ММ-волн на биологические объекты определяется акустоэлектрическими колебаниями в плазматических мембранах биологических клеток в КВЧ-диапазоне.** Причем значительные биологические эффекты можно наблюдать в тех случаях, когда указанные колебания в клетках ослаблены по каким-либо причинам. Это фундаментальное положение и его физическое обоснование были представлены и обобщены в монографиях, брошюрах [10-14] и большом количестве статей и докладов.

С самого начала работ по миллиметровой тематике было высказано несколько важных идей, которые оказались весьма полезными для понимания биофизических механизмов воздействия низкоинтенсивных электромагнитных полей на различные биологические объекты. Прежде всего, было **сформулировано положение о том, что вода и водные растворы являются ключевыми средами в восприятии электромагнитных полей.** Как будет показано ниже, это положение было постоянно в поле зрения исследователей и получило интересное развитие уже в последние годы, когда появились публикации по «памяти воды» после облучения ее ММ-волнами. Кроме того, в те далекие 60-е годы многие исследователи, привлеченные для работы по миллиметровой тематике (это были, в основном, специалисты в области СВЧ-электроники), «бросились» искать биологические структуры, которые могли бы резонансным образом откликаться на падающее электромагнитное излучение. Наконец, было вполне понятным и оправданным «спектроскопическое» направление исследований как в экспериментальном, так и теоретическом планах.



Действительно, поскольку вода или водные растворы органических и неорганических веществ являются основными компонентами практически всех биологических объектов, изучение особенностей поглощения ММ-волн этими средами представлялось важным звеном в теории биофизических механизмов воздействия электромагнитных полей на биологические объекты.

Миллиметровая спектроскопия. Работы по ММ-спектроскопии проводятся и в настоящее время. В результате большого цикла экспериментальных исследований, выполненных В.А. Кудряшовой и В.А. Завизионым в многолетнем сотрудничестве с выдающимся химиком-физиком Ю.И. Хургиным (Институт органической химии РАН) и лабораторией А.М. Храпко (Hi111 «Исток»), получен ряд фундаментальных научных результатов. В частности, было обнаружено нарушение закона аддитивности поглощения ММ-волн компонентами водных растворов. Было показано, что этот факт является следствием межмолекулярного взаимодействия между растворителем и растворенными веществами, определен «дефицит» поглощения для ряда веществ, важных в биологическом отношении. Впервые показано, что для некоторых биологических веществ «дефицит» поглощения может быть положительным (!), т. е. суммарное поглощение этих веществ в растворе оказывается больше (а не меньше, как в случае абсолютного большинства растворенных в воде органических и неорганических веществ) простой суммы поглощений растворителя и растворенного вещества.

Был предложен также метод ММ-спектроскопии определения чисел гидратации для разных вариантов межмолекулярных взаимодействий в водных растворах (для случаев гидрофильной, гидрофобной или смешанной гидратации). Результаты оригинальных экспериментальных исследований нашли отражения в десятках научных публикаций, в том числе и в монографии [15] в рамках серии «Достижения в области химической физики» под общей редакцией лауреата Нобелевской премии И. Пригожина.

Теоретическое направление «спектроскопических» исследований. Это направление представлено работами В.И. Гайдука, Ю. П. Калмыкова и их учеников.

Основное внимание научной группы В.И. Гайдука было уделено структуре воды как двухфазной среды, а также расчету комплексной диэлектрической проницаемости ϵ .

Для расчета ϵ использовался радиофизический подход с использованием уравнений Максвелла и уравнений классической механики, при котором рассматривался ансамбль полярных молекул (диполей), совершающих вращательные качания в плотной среде. Были получены аналитические выражения для ряда полярных жидкостей, воды, а также для растворов электролитов, имитирующих внутриклеточную жидкость. При расчетах предполагалось, что влияние всех молекул, окружающих молекулу - модель, можно учесть выбором формы потенциальной ямы, в которой эта молекула совершает то или иное движение.

В результате многих вариантов перебора оптимальной была признана так называемая «шляпная» форма потенциала. Предложенный подход использовался также для расчета частотных зависимостей ϵ и поглощения в широком диапазоне частот от миллиметровых до инфракрасных волн. Авторам удалось дать физическое объяснение поведения дисперсионных кривых, в том числе происхождение пиков поглощения для обычной и тяжелой воды. Главным итогом этих многолетних исследований является вывод о том, что вода представляет собой раствор двух компонент - обычной (льдоподобной) воды и более плотной воды, особенность которой состоит в кооперативном движении водородно-связанных молекул воды. Основные результаты указанных теоретических исследований нашли отражение в монографиях [16, 17].

В научной группе Ю.П. Калмыкова основное внимание уделяется анализу динамических процессов в полярных средах. Исследования проводятся в тесном сотрудничестве с университетом «Trinity College» (Дублин, Ирландия) и университетом «Universite de Perpignan» (Перпиньян, Франция). Основные достижения в этом направлении можно представить следующим образом: разработаны модели молекулярной перероентации в жидкостях и газах, а также метод функций памяти применительно к теории молекулярной спектроскопии; развита теория нелинейного отклика стохастических систем на силь-



ные воздействия внешних полей; исследована фрактальная динамика в неупорядоченных системах и т. д. [18, 19].

Миллиметровая спектроскопия представлена также работами Т.А. Новсковой, которые она выполняет совместно с коллегами из Института общей и неорганической химии (ИОНХ) РАН (лаборатория А.К. Лященко) [20, 21]. Нашли объяснение экспериментальные зависимости диэлектрических спектров водных растворов в широкой полосе частот. Выяснены особенности гидрофобной гидратации молекул полярных жидкостей. Создана новая теория гидрофобной гидратации, которая объясняет спектры поглощения и комплексной диэлектрической постоянной от 0 до 700 см^{-1} . Объяснены диэлектрические спектры воды в ММ- и субММ-диапазонах на основании новой модели структуры воды, развитой в ИОНХ РАН в последние годы. Установлены границы дебайевской области релаксации и области релаксации Поли.

Обратимся теперь к наиболее важным результатам, полученным экспериментально.

В научной группе А.В. Путвинского получен ряд приоритетных результатов, которые могут быть использованы для понимания механизмов воздействия ММ-волн на различные биологические объекты:

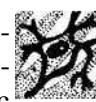
Конвекционное движение жидкости в объеме. Под действием ММ-волн во внутри- и межклеточной жидкости может возникнуть сложное конвекционное движение, что снимает ограничения диффузного движения жидкости вблизи клеток и, в свою очередь, приводит к более активному переносу веществ и электрических зарядов через мембраны. Таким образом, конвекционный перенос растворенных в воде веществ может быть важным механизмом ускорения мембранных процессов под действием ММ-волн. Модельные эксперименты подтверждают это предположение; конвекция хорошо фиксируется при плотностях мощности порядка $0,5... 1\text{ мВт}$ [22, 23]. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что конвекция возможна не только в объеме жидкости, но и в тонких слоях толщиной менее 1 мм при пороговых значениях падающей мощности порядка нескольких микроватт.

Резонансное поглощение ММ-волн диэлектрическими капиллярами. Эксперимен-

тально 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 объемных 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 [24]. Механизм данного феномена до сих пор остается невыясненным.

Этот «капиллярный» эффект может использоваться для объяснения известного медицинского факта - лечения облитерирующего эндартериита с помощью ММ-волн. В работе [25] этот эффект предлагается использовать для измерения высокочастотной мощности в прямоугольных волноводах.

«Тепловые иглы» на поверхности образца при облучении рупорной антенной. Экспериментально обнаружено неравномерное распределение электромагнитного поля при облучении плоских образцов пирамидальными рупорными антеннами. Этот эффект впервые был обнаружен Ю.Г. Яременко совместно с Е. П. Хижняком из Института биофизики клетки РАН [26] на модельных системах, имитирующих кожный покров. Даже при небольших (нетепловых) интенсивностях излучения на облучаемой поверхности тепловизором были зарегистрированы области, в которых интенсивность в несколько раз выше, чем средняя («горячие точки» или «тепловые иглы»). Размеры этих областей - порядка 1 мм , и положение их сильно зависит от частоты излучения, диэлектрических свойств образца, от расстояния между образцом и рупорной антенной. Появление этих областей - результат сложной интерференции ММ-волн. Можно предположить, что при обычной частотной модуляции несущего колебания, которая используется почти во всех терапевтических аппаратах, будет иметь место тепловой массаж кожных рецепторов, т. е. мы [26] имеем дело в данном случае с разновидностью пунктурной ММ-терапии.



Синтез АТФ в клетках зеленого листа.

Впервые влияние излучения на синтез АТФ было зафиксировано И.Ю. Петровым совместно с биологическим факультетом МГУ в эксперименте на листьях комнатного растения *Balsaminus* [27]. 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).

Увеличение биомассы и ускорение синтеза биологически активных веществ синезелеными водорослями (спирулиной). На протяжении многих лет по инициативе Ю.В. Гуляева в ИРЭ совместно с биологическим факультетом МГУ проводится научная работа по изучению влияния ММ-волн на различные фотосинтезирующие организмы, в частности на спирулину, которая широко используется в качестве пищевой добавки и лекарственных препаратов типа «сплат». Экспериментально было показано, что под действием низкоинтенсивных ММ-волн может быть достигнуто существенное увеличение биомассы спирулины (до 250 - 300 %) и количества ряда биологически активных веществ (незаменимых аминокислот, витаминов, белков и т. д.). Наиболее существенные результаты этой работы нашли отражение в монографии [28] и патентах [29, 30].

Участие спинного мозга в восприятии воздействия ММ-волн. При изучении механизма воздействия ММ-волн на целостный организм возникает вопрос, каким образом информация из тонкого слоя кожи, в которой полностью поглощается падающее излучение, передается к внутренним органам. В работах Н.Н. Лебедевой было показано, что 80 % здоровых испытуемых достоверно различают на уровне ощущения воздействие низкоинтенсивных ММ-волн (сенсорная индикация), при этом была 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 центральной нервной системы, 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.

Многообещающим является подход, развиваемый в работах И.В. Родштата с Д.С. Чернавским (ФИАН) и В.П. Карп (МИРЭА). Авторы пытаются соединить в единую концепцию ответ целостного организма на ММ-волны низкой интенсивности, а также ряд принципиальных элементов из теории распознавания образцов применительно к проблеме нейрокомпьютинга [31]. 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.

Наноимпульсное электромагнитное излучение в биологических экспериментах. Для проведения биологических экспериментов по инициативе З.С. Чернова, В.В. Файкина в ИРЭ разработаны В.А. Черепениным и В.А. Вдовиным уникальные релятивистские наноимпульсные генераторы в ММ- и коротковолновой части СМ-диапазонах частот с большой пиковой мощностью. Например, в ММ-диапазоне получена мощность 2 МВт при длительности импульса 13... 15 нс. Характерной особенностью такого импульсного воздействия является высокая ($10^4... 10^5$ В/см) напряженность переменного



электрического поля волны, сравнивая с естественной квазистатической напряженностью электрического поля в биологических клеточных мембранах.

В экспериментах, проведенных В.В. Файкиным совместно с коллегами из Московского научно-исследовательского онкологического института им. П. Герцена, получены обнадеживающие результаты в области онкологии. Опыты проводили на крысах линии Вистар с перевитой внутримышечно в правое бедро карциносаркомой Уокера.

В результате многочисленных экспериментов было обнаружено замедление роста опухоли у облученных животных примерно в 1,5 раза по сравнению с контрольными животными. Следует обратить также внимание на то, что средний срок жизни у облученных животных был на 25... 30 % больше, чем у контрольных [32].

Как уже указывалось выше, высказанная в 60-х годах гипотеза о важной роли воды в механизме воздействия низкоинтенсивных электромагнитных волн на биологические объекты получила в последние годы дальнейшее развитие [33, 34].

Все живое на нашей планете на две трети состоит из воды. Человек примерно на 70 % состоит из воды. Известному немецкому физиологу Д. Раймону принадлежит весьма образное изречение: «Жизнь - это одушевленная вода». 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 H^+ и OH^- , а также способностью воды образовывать слабые водородные связи, которые в 24 раза слабее сил взаимодействия между электронами и ядрами молекул воды. Водородная связь - это электростатическое взаимодействие между отрицательным зарядом кислорода одной молекулы воды и частичными положительным зарядом водорода соседней молекулы. Многие свойства воды обусловлены особенностями водородных связей. Рассмотрим результаты оригинальных экспериментальных исследований, выполненных за последнее десятилетие

по изучению свойств жидкой воды в слабых электромагнитных полях. Во всех приведенных ниже случаях новые обнаруженные физические эффекты обусловлены наличием в воде сетки водородных связей.

Возбуждение объемных молекулярных волн ММ-волнами в воде и водосодержащих средах (СПЕ-эффект*). Сущность эффекта состоит в следующем. При облучении воды или водных растворов низкоинтенсивными ММ-волнами (доли - единицы мкВт/см^2) можно наблюдать отклик системы в смещенном частотном диапазоне (экспериментально он наблюдался в дециметровом (ДМ) диапазоне с помощью высокочувствительных приемников - радиометров с чувствительностью примерно 10^{-16} Вт в полосе частот 50 МГц) [35-39].

На частотной зависимости «отклик в ДМ-диапазоне - частота в ММ-диапазоне» наблюдаются резонансоподобные пики в узких полосах частот (на средних частотах 50,3; 51,8; 65 ГГц), причем мощность «индуцированного» излучения существенно превышает тепловое излучение на этих же частотах. Одним из интересных следствий СПЕ-эффекта является образование резонансной прозрачности водной среды на резонансных частотах, что нашло прямое экспериментальное подтверждение [39]. Научные публикации авторов эффекта позволяют сделать однозначный вывод о том, что в основе СПЕ-эффекта лежит собственное излучение молекулярных осцилляторов (молекулярных кластеров) водной среды.

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 ММ-диапазоне длин волн. Этот экспериментально установленный факт еще раз подчеркивает большую значимость слабых внешних возмущающих факторов в физике взаимодействия атомов и молекул в жидких средах со слабыми электромагнитными полями.

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

Необходимо отметить что СПЕ-эффект имеет не только большое научное значение, он открывает новые области нетрадиционного применения электромагнитных волн в различных практических областях (в биологии, медицине, фармакологии и т.д.). Например, СПЕ-эффект лежит в основе оригинального диагностического комплекса [40], который позволяет проводить диагностику заболеваний человека на самых ранних (субманифестных) стадиях, что выгодно отличает его от широко распространенных на практике рентгеновских или ЯМР-томографов.

«Память» воды. Рассмотрим кратко еще один интересный эффект - речь пойдет о «памяти» воды при воздействии слабых электромагнитных полей.

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 облученной ММ-волнами низкой интенсивности [41]. В это время впервые было сформулировано положение о том, что вода обладает «памятью» при воздействии на нее ММ-волнами. Иными словами, вода «помнит» факт облучения ее ММ-волнами и после выключения генератора выполняет функцию генератора ММ-волн в течение довольно продолжительного времени (до нескольких недель). Это новое свойство воды и водных растворов получило экспериментальное подтверждение [42]. Механизм данного явления обсуждается в работах [33, 43], где исследован 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 продолжает находиться на возбужденном энергетическом уровне, то реализуется эффект «памяти». Теоретические оценки показывают,

что частота перехода протона через потенциальный барьер определяется разностью энергетических уровней AE_p и равна $\omega_p = AE_p/h$, где h - постоянная Планка. В водных кластерах (H_2O), при $n = 50...60$ частоты переходов лежат в ММ- и субММ-диапазонах, что обуславливает резонансный характер поглощения ММ-излучения этими системами.



Таким образом, можно предположить, что в воде и в водных 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.

Рассмотренные выше результаты экспериментальных исследований дают основание сделать общий вывод о том, что обнаружение эффекта влияния слабых электромагнитных полей на воду и водосодержащие объекты имеет фундаментальное значение в электромагнитобиологии и открывает новые возможности в изучении процессов самоорганизации живой материи в процессе ее эволюции в условиях воздействия слабых внешних электромагнитных полей. С уместной осторожностью можно также высказать мысль о том, что вода и слабые электромагнитные излучения в ММ-диапазоне длин волн выполняют роль универсального носителя информации в процессах жизнедеятельности. В этом состоит парадокс и величие слабых сигналов в процессах обмена информацией между конденсированными и полевыми формами материи [37].

Завершая этот раздел, можно отметить, что мы вправе ожидать в ближайшем будущем появления новых оригинальных результатов по «водной» проблеме; уже положено начало использования на практике воды или водных растворов, облученных низкоинтенсивными ММ-волнами (см., например, [44-46]).

Применение ММ-волн в медицине

Научные исследования, проведенные в ИРЭ РАН, в немалой степени способствовали широкому ис-





использованию ММ-волн для лечения различных заболеваний человека и разработки специальной терапевтической аппаратуры. Работа проводилась в тесном сотрудничестве с головным в России Научно-методическим центром ЗАО «МТА-КВЧ», учредителем которого являются ИРЭ РАН и НИ ИИ «Исток». Успех такого сотрудничества определялся в значительной степени организацией Временного научного коллектива «КВЧ» в 1989-1991 гг. по инициативе АН СССР, ГКНТ СССР, МЗ СССР, РСФСР и ИРЭ АН СССР в 1989-1991 гг., проведением регулярных тематических семинаров, Международных симпозиумов, публикацией Трудов симпозиумов, а также изданием журнала «Миллиметровые волны в биологии и медицине». В результате был сформулирован пакет предложений, которые касались новой формы модулирующих сигналов несущего колебания, новых частот несущего колебания, конструкций согласующих устройств антенн-аппликаторов с кожным покровом и т. д. Например, в [47] предложены оригинальные конструкции мембранных согласователей (Ю.Г. Яременко, Е.Е. Чигряй); предложены также различные схемы фрактальных аппаратов для ММ-терапии.

В результате разработаны оригинальные аппараты для ММ-терапии, прошедшие медико-техническую аттестацию по линии МЗ РФ и рекомендованные для серийного выпуска. В частности, были предложены и разработаны впервые в России миниатюрные аппараты типа «Малыш», в которых использовалось либо только ММ-излучение, либо ММ-излучение в комбинации со световым излучением разного цвета (разработчики Аверин В.В. и Юхин А.Ф., НПП «Исток») [48, 49].

Из приборов последнего поколения следует отметить многофункциональные аппараты типа «КВЧ-МТА» (разработчик В.Д. Котов), «КВЧ-НД» (разработчики А.В. Отчерцов и В.Д. Котов), а также впервые - аппарат с узкополосным, шумовым излучением «Шлем» (разработчики Е.А. Мясин и В.Д. Котов).

В ИРЭ разработан также компьютеризированный лечебно-диагностический комплекс «Шарм» в различных модификациях (авторы идеи и разработчики - В.Я. Кислов, В.В. Кислов, В.В. Колесов) [50, 51]. Диагностика заболеваний осуществляется по методу Фолля с обработкой электрических сигналов с репрезентативных точек рук и ног по модифицированному авторами ме-

туду Накатани (риодораку). Лечение проводится с использованием аппаратов ММ-терапии. Комплекс также имеет все необходимые сертификаты по линии МЗ РФ и рекомендован для широкого использования в медицинских учреждениях.

В последние годы в ИРЭ разработаны опытные приборы для ММ-терапии, в которых обобщены и предложены новые длины волн в ММ-диапазоне; эти аппараты в ближайшем будущем должны существенно расширить парк аппаратов для ММ-терапии.

Заключение

Институт радиотехники и электроники РАН в числе первых среди ведущих научных учреждений страны стал проводить исследования по применению достижений радиотехники и электроники в нетрадиционных областях - в медицине, биологии и т. д. Дирекция Института в лице академика В.А. Котельникова, а в последние годы - академика Ю.В. Гуляева всегда поддерживала фундаментальные работы в этом направлении, считая их перспективными, с большими потенциальными возможностями использования научных результатов в различных областях народного хозяйства. Кстати, в середине 80-х годов Ю.В. Гуляев высказал ряд интересных соображений о биологической (информационной) значимости ММ-волн в процессах жизнедеятельности, связав их с отсутствием заметных интенсивностей ММ-волн на Земле как естественного (из-за поглощения атмосферой), так и искусственного происхождения (отсутствие источников). Одной из таких крупных работ, проводимых в ИРЭ РАН, является фундаментальное исследование по изучению биологических эффектов низкоинтенсивных электромагнитных волн в ММ- или КВЧ-диапазоне. Хотелось бы обратить внимание на одно важное историческое обстоятельство. Совмещение Н.Д. Девятковым в одном лице служебных обязанностей заведующего отделом СВЧ-электроники (ИРЭ РАН), научного руководителя ведущего в стране промышленного НИИ в области электронной техники (НПП «Исток»), а также председателя Научного совета РАН по проблеме «физическая электроника» предопределило плодотворное сотрудничество специалистов различных специальностей в масштабах всей страны.

Вклад ИРЭ РАН в становление нового междисциплинарного научного направления - **миллиметровой электромагнитной биологии**, в разработку научных основ нового многообещающего метода лечения различных заболеваний человека - **миллиметровой (КВЧ)-терапии** является весьма существенным.

Итогом многолетней работы большого коллектива явилось присуждение в 2000 г. сотрудни-

кам ИРЭ РАН (Н.Д. Девяткову, О.В. Бецкому, В.Я.Кислову, ВВ. Кислову и НИ. Синицыну) в составе авторского коллектива Государственной премии РФ в области науки и техники за 2000 г. за «Разработку и внедрение аппаратуры для лечения и функциональной диагностики с использованием низкоинтенсивных электромагнитных колебаний в миллиметровом диапазоне длин волн».



Ш Литература

1. *Голант М.Б., Виленская Р.Л., Зюлина Е.А.* и др. Серил широкодиапазонных генераторов малой мощности ММ- и субММ-диапазона волн. - Приборы и техника эксперимента, 1965, № 4, с. 136-139.
2. *Адампко В.Г., Виленская Р.Л., Голант М.Б.* и др. Влияние миллиметровых волн на микрофлору помещений. - Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ, 1966, вып. 12, с. 132-136.
3. *Пресман А.С.* Электромагнитные поля и живая природа. - М.: Наука, 1968.
4. *Гордон З.В.* Вопросы гигиены труда и биологического действия электромагнитных полей сверхвысоких частот. - М.: Медицина, 1966.
5. Научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. - УФН, 1973, т. 110, вып. 3, с. 456-458.
6. *Гайдук В.И., Коренева Л.Г.* О принципиальной возможности резонансного воздействия сверхвысокочастотных колебаний на гемоглобин. - ДАН СССР, 1970, т. 193, № 2, с. 465-468.
7. *Гайдук В.И.* К методике вычисления комплексной диэлектрической проницаемости по измеренным значениям коэффициентов поглощения и отражения. - Радиотехника и электроника, 1970, т. XV, № 12, с. 2646-2647.
8. *Гайдук В.И., Кудряшова В.А., Ильина С.А.* и др. Исследование резонансного воздействия волн миллиметрового диапазона на гемоглобин. - Труды 4 Всес. симпозиума гигиены труда и биологического действия волн радио частот. - М.: Ин-т гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР, 1972.
9. *Гайдук В.И., Хургин Ю.И., Кудряшова В.А.* Перспективы изучения механизмов нетеплового воздействия электромагнитным полем миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на биологически активные соединения. - УФН, 1973, т. ПО, вып. 3, с. 56.
10. *Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В.* Особенности медико-биологического применения ММ-волн. - М.: ИРЭ РАН, 1994.
11. *Biological aspects of low intensity millimeter waves (N.D. Deviatkov, O.V. Betskii- Eds.),* Moscow, Seven Plus, 1994, (книга вышла в свет в 1996г).
12. *Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В.* Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. - М.: Радио и связь, 1991.
13. *Бецкий О.В., Голант М.Б., Девятков Н.Д.* Миллиметровые волны в биологии. Сер. Физика, 6/1988. - М.: Знание, 1988.
14. *Бецкий О.В., Кислов В.В.* Волны и клетки. Сер. Физика, 2/1990. - М.: Знание, 1988.
15. *Khurgin Yu.I., Kudryashova V.A., Zavizion V.A., Betskii O. V.* Millimeter Absorption Spectroscopy of Aqueous Systems, 1994, p. 483-545. - В сб. "Relaxation Phenomena in Condensed Matter (Ed.- W.Coffey). -Advances in Chemical Physics / Vol. LXXXVVI, p. H. "John Wiley and Sons Inc".
16. *Gaiduk V.I.* Dielectric relaxation and dynamics of polar molecules (World Scientific, Singapore, 1999).
17. *Gaiduk V.I., Tseitlin B.M.* The Complex Susceptibility of a Librating Dipole in an Axially Symmetric Potential Well. - hi Relaxation Phenomena in Condensed Matter (Ed. - W. Coffey). - Advances in Chemical Physics / Volume LXXXVn, 1994, pp. 124-378, p.H. "John Wiley and Sons Inc".)
18. *Coffey W.T., Kalmykov Yu.P., Waldron J.* The Langevin Equation. With Application in Physics, Chemistry and Electrical Engineering, World Scientific, Singapore, 1996.
19. *Калмыков Ю.П., Тумов С.В.* Применение методов функций памяти для расчета вращательного спектра поглощения паров воды. - Радиотехника и электроника, 1989, т. 34, №1, с. 13-20.
20. *Лященко А.К., Новскова Т.А.* Структурно-кинетические характеристики и высокочастотные диэлектрические свойства жидкостей с диполь-дипольным взаимодействием. - Журнал химической физики, 2003, т. 76, № 11, с. 1965-1971.
21. *Lyashchenko A.K., Lileev A.S., Novskova T.A., Kharkin V.S.* Dielectric relaxation of aqueous nonelectrolyte solutions experimental structural and molecular-kinetic aspects. - J. MOL. LIQ., 2001, v. 93, № 1-3, p. 29.
22. *Бецкий О.В., Путвинский А.В.* Биологические эффекты ММ-излучения низкой интенсивности - Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. Электронные приборы СВЧ, 1986, т. 29, № 10, с. 4-10.
23. *Бецкий О.В.* Миллиметровые волны в биологии и медицине. - Радиотехника и электроника, т. 38, № 10, с. 1760-1782.
24. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.* Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных волн на



- биологические объекты. - Миллиметровые волны в биологии и медицине, 2001, № 3 (24), с. 5-19. 25. А. с. №1101750. Способ измерения мощности СВЧ/ *Бецкий О.В., Казаринов К.Д., Путвинский А.В., Шаров В.С.*
26. *Бецкий О.В., Петров И.И., Тяжелое В.В.* и др. Распределение электромагнитных полей миллиметрового диапазона в модельных и биологических тканях при облучении в ближней зоне излучателей. - ДАН СССР, 1989, т. 309, №1, с. 230-233.
27. *Петров И.Ю., Бецкий О.В.* Изменение потенциала плазматических мембран клеток зеленого листа при электромагнитном миллиметровом облучении. - ДАН СССР, 1989, т. 305, №2, с. 474-476.
28. *Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В.* Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы/ Под ред. академика РАН *Ю.В. Гуляева*, профессора *А.Х. Тамбиева*. - М.: Радиотехника, 2003 (в печати).
29. А.с. №1 741 417. Способ получения посевного материала микроводорослей/ *Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М.* и др.
30. А. с. № 1 741 917. Способ получения посевного материала микроводорослей/ *Тамбиев А.Х., Лапшин О.М., Кирикова Н.Н.*
31. *Чернавский Д. С, Карп В.П., Родичат И.В.* Нейрокомпьютинг и реальные нейросети спинального и церебрального уровней. - Биомедицинская радиоэлектроника, 1999, №2, с. 27-32.
32. *Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Кабисов Р.К.* и др. Воздействие низкоэнергетического импульсного КВЧ- и СВЧ-излучения наносекундной длительности с большой пиковой мощностью на биологические структуры (злокачественные образования). - Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 1, с. 56-62.
33. *Бецкий О.В.* Вода и электромагнитные волны. - Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, № 2.
34. *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.* Необычные свойства воды в слабых электромагнитных полях. - Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2003, № 1, с. 37-44.
35. *Петросян В.И., Житенева Э.А., Гуляев Ю.В.* и др. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона. - Радио техника и электроника, 1995, т. 40, вып. 1, с. 127-134.
36. *Синицын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.А.* и др. Особая роль системы "миллиметровые волны-водная среда" в природе. - Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, №1, с. 5-23.
37. *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.
38. *Петросян В.И., Синицын Н.И., Ёлкин В.А.* Люминесцентная трактовка "СПЕ-эффекта." -Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, № 1, 2002, с. 28-38.
39. *Петросян В.И., Синицын Н.И., Ёлкин В.А.* и др. Проблемы косвенного и прямого наблюдения резонансной прозрачности водных сред в миллиметровом диапазоне. - Биомедицинская радиоэлектроника, 2000, № 1, с. 825-832.
40. Патент № 2 192 781 (РФ). Способ функциональной диагностики и аппаратный комплекс для его осуществления/ *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Котровская Т.Н.* и др.
41. *Девятков Н.Д., Кислое В.Я., Кислое 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. 65-68.31.
42. *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, v. 366, pp. 49-52.
43. *Гапочка Л.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.
44. Патент № 2.137.500 (РФ). Способ получения биологически активной жидкости и устройство для его осуществления / *Аверин В.В., Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.* и др.
45. Патент № 2.2148.903 (РФ). Способ повышения жизнеспособности биообъектов/ *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Посмитный С.В.*
46. Патент № 2 203 529 (РФ). Устройство для активации воды/ *Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Посмитный С.Д., Котов В.Д.*
47. Патент (РФ) № 2.089.166. Устройство для КВЧ-терапии/ *Бецкий О.В., Чигряй Е.Е., Яременко Ю.Г.*
48. А.с. №34.532.433. Устройство для КВЧ-терапии/ *Аверин В.В., Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.* и др.
49. Патент №2 112 (РФ). Аппарат для КВЧ-терапии (варианты)/ *Аверин В.В., Бецкий О.В., Лебедева Н.Н.*
50. *Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В., Белый Ю.Н.* и др. Электрофизические основы и клинические применения диагностики и КВЧ-коррекции функциональных состояний человека. - Радиотехника и электроника, 1995, т. 40, № 12, с. 1887-1899.
51. *Девятков Н.Д., Кислое В.Я., Колесов В.В.* и др. Лечебно-диагностический комплекс "Шарм". - В сб. докладов: Миллиметровые волны в медицине и биологии. - М.: ИРЭРАН, 1995, с. 178-179.

Поступила 10 июня 2003 г.

От редактора

Поиск нетрадиционных областей применения достижений в области электроники и радиотехники является отличительной чертой многих научно-исследовательских работ, выполняемых в Институте радиотехники и электроники (ИРЭ) РАН. Она во многом определялась научными взглядами руководителей ИРЭ и научными направлениями знаменитых ученых.

Классическим примером нового применения электромагнитных волн является предложенный в ИРЭ (акад. Ю.Б. Кобзарев, проф. А.Е. Башаринов) метод пассивной радиолокации земной поверхности с использованием ИСЗ. Оказалось, что, принимая собственное тепловое (электромагнитное) излучение и выполняя мониторинг подстилающей поверхности, можно получить уникальную информацию о влажности почвы и всхожести семян на пашне, о распространности лесных пожаров, о степени солености воды океанов и распределении в них льда и т.д. Этот метод пассивной радиолокации нашел широкое применение на практике в развитых странах мира.

Широкомасштабные работы в области биомедицинской радиоэлектроники были начаты в ИРЭ примерно в середине шестидесятых годов прошлого столетия по инициативе акад. Н.Д. Девяткова. Первый опыт был связан с развитием нового метода обработки биотоков мозга человека. Для последовательно-временного анализа электроэнцефалограмм было предложено использовать интегральные преобразования Гильберта, которые хорошо известны в радиотехнике. Эта работа выполнялась совместно с НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко и завершилась созданием (совместно с ФГУП НИИ "Исток"¹) оригинального прибора для анализа электроэнцефалограмм в реальном масштабе времени. Позднее под руководством акад. Н.Д. Девяткова были поставлены научные работы по изучению биофизических механизмов воздействия низкоинтенсивных электромагнитных полей в миллиметровом диапазоне длин волн на различные биологические объекты. Эти пионерские работы завершились разработкой и внедрением в практическое здравоохранение нового метода диагностики и лечения различных заболеваний человека - миллиметровой или крайне высокочастотной терапии. В ИРЭ были разработаны серия терапевтических приборов (совместно с ведущими предприятиями страны в области электронной промышленности), а также лечебно-диагностический комплекс, которые нашли широкое применение на практике. Значимость этой работы была подтверждена присуждением ряду сотрудников ИРЭ в составе авторского коллектива Государственной премии РФ в области науки и техники за 2000 г.

Примерно четверть века тому назад в ИРЭ были поставлены фундаментальные исследования по изучению физических полей человека в интересах медицины и биологии. Инициатором этих исследований был акад. Ю.В. Гуляев, который привлек в качестве сору-



**Юрий Васильевич
Гуляев** —

*директор ИРЭ РАН, член Президиума
РАН, президент ЦП РНТОРЭС
им. А.С. Попова.*

*Научные интересы:
телекоммуникации, информатика,
биомедицины, элементная база,
твердотельная электроника*

ководителя исследований проф. Э.Э. Годика. Предварительным итогом этих работ явилось получение уникальной научной информации о различных физических полях человека (электромагнитные в радио- и ИК-диапазонах, статические - электрическое и магнитное, акустическое, кожно-гальванические потенциалы и др.). Была получена также важная информация о динамике полей при воздействии на человека различных слабых внешних факторов и в разных физиологических состояниях. Все эти данные использованы при разработке медицинской аппаратуры, для диагностики и лечения заболеваний человека, а также в научных исследованиях при изучении механизмов функционирования различных органов и физиологических систем человека. Так, например, были разработаны аппаратура и методы динамической ИК-термографии в медицинской диагностике, автоматизированная система контроля состояния оператора, многоканальный радиометр для медицинской диагностики, магнитометрическая система с использованием высокотемпературных ПТ-СКВИДов для биоманнитных применений и т. д. Большое внимание уделяется также разработке автоматизированных систем для многоканальных физиологических измерений в авиационно-космической медицине при нагрузочных пробах.

В настоящий выпуск из-за ограниченности объема журнала вошла небольшая часть работ по биомедицинской тематике, выполненных в ИРЭ. Ряд работ будет опубликован в последующих выпусках журнала. Со временем будут опубликованы также результаты работ по использованию в медицине и биологии новейших достижений в области акустоэлектроники, нанотехнологии, биотехнологии и др.

В заключение кратко остановимся на результатах научной работы, проводимой на протяжении более 10 лет в ИРЭ совместно с биологическим факультетом МГУ (по инициативе акад. Ю.В. Гуляева и проф. А.Х. Тамбиева). Речь идет о возможности стимуляции роста биомассы и синтеза ряда биологически активных веществ сине-зеленой водорослью спирулиной под действием низкоинтенсивных полей в миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн. Спирулина относится к природным объектам с максимально возможной питательной ценностью. Сейчас она широко используется во всем мире в качестве пищевой добавки или медицинского препарата (типа "Сплат"). Применяемые на практике методы стимуляции позволяют увеличить прибавку биомассы на 25-30 %. Предложен, экспериментально продемонстрирован и запатентован метод стимуляции роста биомассы на 250-300 % с помощью слабых электромагнитных полей. Хотя статья на эту тему не вошла в настоящий выпуск, но с данной работой можно будет ознакомиться в монографии "Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы", которая в ближайшее время выходит в издательстве "Радиотехника", и читатели получают ее как приложение к девятому выпуску журнала.

Академик РАН



Ю.В. Гуляев

