

МИЛЛИМЕТРОВЫЕ ВОЛНЫ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

О.В. Бецкий¹, Котровская¹ Т.И., Лебедева Н.Н.²

- 1) Фрязинский филиал Учреждения Российской академии наук
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
- 2) Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН
ЗАО «МТА - КВЧ»

Рассмотрена история возникновения и основные этапы развития альтернативного метода лечения различных распространённых заболеваний человека – миллиметровая (КВЧ) терапия.

Наряду с традиционными областями применения все большее внимание ученых и инженеров привлекает возможность использования когерентных электромагнитных колебаний в медицине, биологии, биотехнологии, сельском хозяйстве и т.д. В медицине электромагнитные поля применяются в качестве лечебного или диагностического средства.

Когерентные электромагнитные колебания миллиметрового (ММ), или крайне высокочастотного (КВЧ), диапазона были освоены сравнительно недавно – в середине шестидесятых годов нашего столетия. Большая заслуга в этом принадлежит России. практически освоение этого диапазона началось с работ, выполненных в НИИ "Исток" (г. Фрязино) под руководством акад. Н.Д.Девяткова и проф. М.Б.Голанта, когда была разработана и запущена в серийное производство серия вакуумных широкополосных приборов – ламп обратной волны с продольным магнитным полем (ЛЮВ-О), в которых частота генерации перестраивается электрическим способом путем изменения электрического напряжения на одном из управляющих электродов [1]. ММ-диапазон охватывает длины волн (в воздушном пространстве) $\lambda = 1 \dots 10$ мм, что соответствует частотам колебаний соответственно $f = 300 \dots 30$ ГГц.

Благодаря ряду особенностей взаимодействия ММ электромагнитных волн с биологическими объектами использование этих волн в медицине и биологии является уникальным. Почему именно ММ-волны? Миллиметровые волны относятся к неионизирующим излучениям. Энергия кванта в миллиметровом диапазоне ($\sim 10^{-3}$ эВ при $\lambda = 1$ мм) Энергия кванта в ММ-диапазоне меньше даже энергии теплового движения $h\nu < kT$ (при комнатной температуре $kT \sim 2,5 \cdot 10^{-2}$ эВ).

Одна из важных особенностей ММ-волн состоит в том, что они сильно поглощаются водой и водными растворами (как известно, организм человека содержит около 70% воды). Так, например, слой воды толщиной 1 мм ослабляет ММ-волны в 10 000 раз при $\lambda = 2$ мм и в 100 раз при $\lambda = 8$ мм. Такое свойство воды объясняется тем, что частоты вращательных движений молекул воды находятся в области ММ-и субММ-волн. При взаимодействии ММ-волн с молекулами воды происходит «перекачка» энергии волн в энергию вращательных степеней свободы с последующей диссипацией энергии за счет межмолекулярных взаимодействий.

Возможность влияния миллиметрового излучения на биологические объекты далеко не очевидна. Идея о возможности специфического воздействия волн ММ-диапазона на биологические структуры и организмы впервые была высказана советскими учеными Н.Д.Девятковым, М.Б.Голантом и Э.А. Гельвичем в 1964/65 гг. и состояла в следующем. Миллиметровое излучение внеземного происхождения сильно поглощается водными парами атмосферы Земли. Поэтому живые организмы могут не иметь естественных (эволюционных) механизмов приспособления к колебаниям заметной интенсивности в этом диапазоне, обусловленным внешними причинами. Однако этот "беспомеховый" диапазон частот мог быть использован живыми организмами для собственных нужд в целях передачи информации (управляющих сигналов) между клетками внутри живых организмов. Эта оригинальная идея впоследствии получила не только теоретическое [2-4], но и практическое подтверждение в сотнях работ, выполненных как у нас в стране, так и в ряде зарубежных стран. Так, например, в

соответствии с теоретической работой Г.Фрелиха (1968 г.) отдельные участки биологических мембран или биомакромолекул могут совершать колебательные движения в частотном диапазоне $10^{10} \dots 10^{11}$ Гц, что соответствует КВЧ-диапазону.

Ключевую роль в отклике организма человека на воздействующее ММ-излучение играют молекулы воды, плазматические мембраны клетки и строение верхних слоев кожи. Организм человека состоит примерно из 10^{13} клеток. Каждая клетка — достаточно автономное образование, для обеспечения согласованной работы которого должны существовать некоторые механизмы синхронизации функций. Гомеостаз организма (поддержание постоянства основных параметров организма в некоторых физиологически значимых пределах) связан с генерацией клетками полей в КВЧ-диапазоне. Амплитудно-частотные характеристики излучения больного и здорового организма разные, так как любое заболевание организма начинается с заболевания клетки. Внешнее КВЧ-излучение (аппарат для КВЧ-терапии) имитирует собственное излучение организма в КВЧ-диапазоне, и в процессе терапии выполняет функцию синхронизирующего устройства, восстанавливая утраченную организмом в процессе заболевания ". Основные, первоначальные, события разыгрываются в клеточных мембранах (акустоэлектрические волны или колебания Фрелиха).. Первичной мишенью являются молекулы воды, а главными элементами, с которыми связано возбуждение в мембранах акустоэлектрических волн, — мембранные рецепторы как вход регуляторных систем.

Белковые молекулы в функционально активном состоянии на поверхности клеток являются регуляторами физических и химических процессов, включенных в общую схему метаболизма, и нормализуют через белковые рецепторы жизненно-важные функции клеток. В результате в клетке может возрасти синтез АТФ (универсального источника питания клетки) и могут дополнительно вырабатываться биологически активные вещества, имеющие лечебные свойства. Важная роль в реализации биологических эффектов в КВЧ диапазоне принадлежит коже. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в этом процессе участвуют не только кожные рецепторы белковой природы, но и капиллярная система, а также иммунокомпетентные клетки (в частности Т-лимфоциты). Оказывается, что под действием КВЧ излучения в капиллярах может возникнуть резонансное поглощение, приводящее к увеличению скорости протекания жидкости через капилляр, а также к изменению вязкости самой жидкости. КВЧ-излучение может привести также к увеличению синтеза иммунокомпетентными клетками различных биологически-активных веществ, определяющих иммунный статус организма. Вольтамперная характеристика этих контактов имеет участок с отрицательной дифференциальной проводимостью, что может служить причиной преобразования спектра частот излучения, падающего на кожу. Это обстоятельство, в частности, отражает целесообразность использования амплитудной модуляции несущего колебания в КВЧ-аппаратах.

Что касается экспериментального подтверждения основополагающей пионерской идеи, то об этом свидетельствует ход многолетних экспериментальных и клинических работ, выполненных в основном в России, завершившихся активным использованием ММ-волн в практическом здравоохранении (ММ-терапия или КВЧ-терапия). Поясним это утверждение на следующей хронологической шкале становления ММ-терапии в России.

Первый этап: 1966...1973 гг. На этом этапе были выполнены пионерские исследования (под общим руководством акад. Н.Д.Девяткова) по изучению эффектов воздействия ММ-волн на различные биологические объекты (микроорганизмы, экспериментальные животные). Главным результатом этих исследований явилось установление основных закономерностей взаимодействия ММ-волн с живыми системами [2 - 4].

Прежде всего было показано, что наиболее интересные биологические эффекты имеют место при низких интенсивностях (плотностях мощности) ММ-излучения, $P < 10 \text{ мВт/см}^2$. В практику общения специалистов было введено понятие «биологические эффекты низкоинтенсивного (нетеплового) миллиметрового излучения». Далее было показано, что биологические эффекты в ММ-диапазоне волн имеют пороговый характер: они наблюдаются уже при плотностях мощности $P_{\text{пор}}$ порядка 100 мкВт/см^2 , затем при возрастании мощности биологический эффект почти скачком (триггер-эффект) достигает максимального значения и далее практически не меняется при увеличении мощности ММ-излучения на порядок или более (эффект "плато"). Вызывают удивление малые значения $P_{\text{пор}}$, при которых облучаемый образец

нагревается не более, чем на доли градусов. Но если сравнивать $P_{пор}$ с плотностью мощности собственного теплового излучения биологических объектов P_T , то оказывается, что $P_T \ll P_{пор}$ (в миллиметровом диапазоне $P_T = 10^{-18} - 10^{-19}$ Вт/см²). Тот факт, что $P_T \ll P_{пор}$ свидетельствует о возможности эффективного воздействия электромагнитного излучения на биологические объекты. Но самым удивительным и значимым проявлением отклика биологических объектов на воздействие низкоинтенсивных ММ-волн является четко выраженная частотная зависимость эффекта ("резонансные эффекты ММ-излучения"). В этих экспериментах, выполненных с микроорганизмами (кишечной палочкой) и лабораторными животными (мыши), были определены две ярко выраженные стимулирующие частоты — $f_{p1} \sim 53,53$ ГГц ($\lambda_{p1} \sim 5,6$ мм) и $f_{p2} \sim 42,20$ ГГц ($\lambda_{p2} \sim 7,1$ мм), которые и были использованы для разработки базовых медицинских аппаратов типа "Явь-1" [5]. По совокупности экспериментально обнаруженных закономерностей взаимодействия низкоинтенсивных ММ-волн с биологическими объектами было сформулировано принципиальное положение, заключающееся в том, что биологические эффекты в ММ-диапазоне носят нетепловой (неэнергетический) характер, то есть обладают всеми признаками информационного воздействия.

Первый этап исследований завершился (по инициативе акад. Н.Д.Девяткова) широким обсуждением полученных результатов на специальной сессии Отделения общей физики и астрономии АН СССР (1973 г.). После опубликования экспериментальных материалов и дискуссии по этой проблеме в академическом журнале «Успехи физических наук» [6] появились сообщения о теоретических и экспериментальных исследованиях в этом направлении не только в различных городах СССР, но и за рубежом (США, Германия, Франция, Польша, Канада и др.).

Второй этап: 1973-1989 гг. Этот этап характеризуется расширением экспериментальных исследований и выдвижением различных гипотез, объясняющих биофизические механизмы взаимодействия низкоинтенсивных ММ-волн с биологическими объектами.

К этому времени относятся также первые осторожные попытки использования ММ-волн для лечения некоторых заболеваний человека с применением приборов на основе фрязинских ЛОВ-О.. В конце семидесятых годов по инициативе акад. Н.Д.Девяткова и с разрешения МЗ СССР в ведущих клиниках страны была успешно проведена первая научно-обоснованная клиническая апробация ММ-волн для лечения заболеваний в области онкологии, травматологии и гастроэнтерологии. В эти годы возникла необходимость в широком обсуждении и обобщении как экспериментальных, так и первых клинических материалов, и, начиная с 1974 г., с периодичностью раз в два года проводятся Всесоюзные Совещания (Симпозиумы) по проблеме "Применение низкоинтенсивных ММ-волн в биологии и медицине". Инициаторами проведения этих Совещаний выступил Научный Совет АН СССР по проблеме "Физическая электроника" (председатель акад. Н.Д.Девятков) и Институт радиотехники и электроники АН СССР (ИРЭ АН СССР).

Третий этап: с 1980 г. по настоящее время. На этом этапе были разработаны первые образцы терапевтической аппаратуры в ММ-диапазоне длин волн с использованием в качестве активных элементов лавинно-пролетных диодов. Были выбраны рабочие частоты $f_{p1} = 53,53$ ГГц ($\lambda_{p1} = 5,6$ мм), $f_{p2} = 42,20$ ГГц ($\lambda_{p2} = 7,1$ мм) и $f_{p3} = 61,2$ ГГц ($\lambda_{p3} = 4,9$ мм). Эти приборы стали применяться в десятках клиник страны. Позднее на основе этих приборов был начат серийный выпуск терапевтических аппаратов "Явь-1", а затем десятков их модификаций.

Потребности медицинской практики явились стимулом для разработки первых в РФ лечебно-диагностических комплексов, в которых сочетаются достижения современной функциональной диагностики, в частности с использованием свойств биологически-активных точек (БАТ), с успехами в области терапевтической аппаратуры в ММ-диапазоне.

На этом этапе был проведен цикл оригинальных исследований по использованию миллиметровых волн для стимуляции роста фотосинтезирующих организмов (спирулины) [7].

Большое значение в становлении миллиметровой терапии имело создание (1989 – 1991 гг) по Постановлению Президиума АН, ГКНТ, МЗ СССР временного научного коллектива (ВНК КВЧ). Головной организацией был назначен ИРЭ АН СССР, а научным руководителем ВНК был назначен академик Н.Д.Девятков. ВНК объединил усилия более 40 научных, медицинских

и промышленных предприятий, занимающихся вопросами применения низкоинтенсивных миллиметровых волн в биологии и медицине. Перед ВНК были поставлены следующие основные задачи: исследование механизмов воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты, апробация нового метода лечения распространённых заболеваний человека в ведущих медицинских учреждениях Москвы, широкая пропаганда нового метода лечения, разработка терапевтических аппаратов для КВЧ-терапии, пригодных для использования в стационарных и домашних условиях. После успешного завершения работы ВНК был преобразован в организацию, которая сейчас называется ЗАО «МТА-КВЧ».

Подведем кратко основные итоги:

1 Сформулированная концепция послужила стимулом для постановки большого количества экспериментальных исследований в РФ, СНГ и за рубежом.

2 Результатом этого цикла работ, явилось установление основных закономерностей взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных волн в КВЧ диапазоне, подтверждающие основные положения концепции (середина 70-х годов).

3 Успешные результаты клинической апробации послужили основой для постановки новых экспериментальных, теоретических и клинических работ по проблеме «Применение низкоинтенсивных электромагнитных колебаний КВЧ-диапазона в биологии и медицине».

4 Разработаны и внедрены в медицинскую практику базовые аппараты для КВЧ (ММ)-терапии типа «Явь-1». Эти аппараты послужили прототипом для разработки ряда модификаций терапевтических ММ-аппаратов (десятки наименований) как в РФ, так и в зарубежных странах.

5 Разработана и внедрена в практику здравоохранения серия приборов нового поколения для медицинских стационаров, а также для индивидуального и амбулаторного применения (МТА), «КВЧ - НД» и др.).

6 Проведена широкая пропаганда нового метода лечения различных заболеваний человека -ММ-терапия. Таким образом, главные итоги оригинальной и приоритетной для РФ и не имеющей зарубежных аналогов работы можно сформулировать следующим образом: Развита новая область медицинского приборостроения (лечебная и лечебно-диагностическая аппаратура, использующая низкоинтенсивные электромагнитные колебания в миллиметровом диапазоне длин волн).

7 К настоящему времени	
выпущено	более 10 000 аппаратов для ММ-терапии;
утверждено (в МЗ СССР и РФ)	15 научно-методических рекомендаций;
подготовлено	более 500 врачей;
метод ММ-терапии применяется	более, чем в 1 000 медицинских учреждений
пролечено	более 1 000 000 больных;
выпущено	54 номеров специализированного журнала
проведено	15 симпозиумов и 8 рабочих совещаний врачей-терапевтов.
опубликовано	14 томов материалов совещаний и симпозиумов; 3 монографии; 3 научно-популярных брошюры; более 1 000 статей;
получено	15 патентов РФ;
выпущен	научно-популярный телефильм «Загадочные миллиметровые» (консультанты Н.Д.Девятков и О.В.Бецкий.

В 2000г. коллектив авторов под руководством Н.Д. Девяткова был удостоен Государственной премии РФ в области науки и техники.

Литература

1 Голант М.Б., Виленская Р.Л., Зюлина Е.А. и др. Серия широкодиапазонных генераторов малой мощности миллиметровых и субмиллиметровых диапазонов длин волн. ПТЭ, 1965, №4, с.136-139.

2 Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991, 169 с.

3 Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Особенности медико-биологического применения миллиметровых волн. М.: ИРЭ РАН.- 1994,- 164 с.

4 Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. - М., «Сайнс пресс», 2004, - 271 с.

5 Дедик Ю.В. Установка для КВЧ-терапии "Явь-1", Электронная промышленность. 1988.- №2.- с.53.

6 Девятков Н.Д., Голант М.Б. и др. Сессия отделения общей физики и астрономии АН СССР 17-18 января 1973 г.//Успехи физ.наук, 1973, т,110, №3, с.452-469.

7 Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Бецкий О.В., Гуляев Ю.В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы (под редакцией академика РАН Ю.В. Гуляева и профессора А.Х. Тамбиева). Издательский дом «Радиотехника», 2003, - 175 с.

O. V. Betskii¹, Kotrovskaya¹ T. I., N. N. Lebedeva²

Millimeter Waves in Biology and Medicine

1) Institute for Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences

2) Institute for Higher Nerve Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences,
JSC “MTA – KVCh”, Moscow,