

Ж. Биомедицинская радиоэлектроника, 222, №2, С. 52-57.

УДК 538.9:538.573:61:534.1:577.3:517.501:615

ЛАЗЕРО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ БИОТКАНЕЙ И ВОДНЫХ СРЕД

В.И. Петросян, Н.И. Синицын, В.А. Елкин,
Г.Е. Бриль, Д.А. Разумник.

V.I. Petrosyan, N.I. Sinitsyn, V.A. Elkin,
G.E. Brill, D.A. Razumnik.

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН,
ЗАО “Научно – производственный центр физики и новых методов медицины”,
Филиал Кафедры вычислительной физики и автоматизации научных
исследований Саратовского государственного университета,
Центральная научно- исследовательская лаборатория Саратовского государственного
медицинского университета.

The Saratov branch of Institute of a radio engineering and electronics of RAS,
KAS “ Scientifically - industrial center of physics and new methods of medicine ”,
Branch of Faculty of computing physics and automation scientific
Researches of the Saratov state university,
The central scientifically research laboratory of the Saratov state medical university.

Аннотация. С использованием нового прецизионного метода трансмиссионно - резонансной КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии обнаружены и исследованы радиоизлучения водных и биологических сред, стимулированные низкоинтенсивным излучением гелий-неонового лазера.

The summary. With use new exact of a method taking place - by a resonant UHF/MICROWAVE radio spectrum the analysis found out and the radoradiations of water and biological environments, exited by weak radiation of the heli-neon laser are investigated..

Введение. Успехи в области КВЧ терапии и углубление понимания механизмов взаимодействия ММ электромагнитных волн с водными и биологическими средами свидетельствуют об участии системы “ММ волны - водная среда” в фундаментальных процессах обеспечения жизнедеятельности организмов. Такой взгляд основан на существовании в живых организмах особого резонансного молекулярно-волнового состояния, несущего в себе одну из глубинных функций гомеостаза. Функциональные нарушения и патология сопровождаются отклонением резонансного состояния организма от нормы. Воздействие на очаги поражения низкоинтенсивных резонансных ММ волн приводит к нормализации их функционирования. В этом заключается подход к пониманию механизма КВЧ терапии [1-3].

Существует заметное сходство по характеру и конечному эффекту воздействия на биосистему ММ волн и лазерного излучения, применяемых в КВЧ и лазеротерапии. Это прежде всего низкая нетепловая мощность и резонансный характер воздействия, а в клинике - системность действия, политерапевтический эффект и безмедикаментозность. Методы развиваются независимо, имеют свои биофизические трактовки, хотя четкого понимания физических механизмов лазерного воздействия на биосреды как водосодержащие системы нет. Однако аналогии подводят к мысли об участии ММ волн прямо или косвенно в процессах взаимодействия лазерного излучения с биосредами. Использование разработанного нами прецизионного метода радиоспектроскопии позволяет в определенной степени прояснить проблему.

Аппаратура и методы исследования. Изучение взаимодействия низкоинтенсивного лазерного излучения с водными и биологическими средами проводилось с применением

метода трансмиссионно-резонансной КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии [1-3]. Экспериментальный комплекс для КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии состоит из КВЧ свип-генератора, работающего в диапазоне частот от 48 до 54 ГГц с выходной мощностью до 20 мкВт, высокочувствительного радиометрического СВЧ приёмника с чувствительностью 10^{-17} Вт (0,1 К) и рабочей полосой от 975 МГц до 1025 МГц, излучающей антенны и приёмной аппликаторной антенны. В работу комплекса заложен новый принцип: при свипировании частоты падающего на исследуемую среду монохроматического излучения в КВЧ диапазоне, когда частота сигнала внешнего воздействия сравнивается с частотами собственных (резонансных) молекулярных колебаний, последние синхронизируются, возбуждая в среде резонансное состояние. При этом волны на резонансной частоте проникают в объем среды, и рассеиваясь (диссипируя) преобразуются в длинноволновую часть шумового СВЧ радиоизлучения, в том числе в дециметровые волны, которые и регистрируются радиометром в виде резонансных спектров. Метод радиоспектроскопии позволяет регистрировать реакцию сред на различные слабые воздействия.

Эксперименты реализуются по схемам, представленным на рис.1.

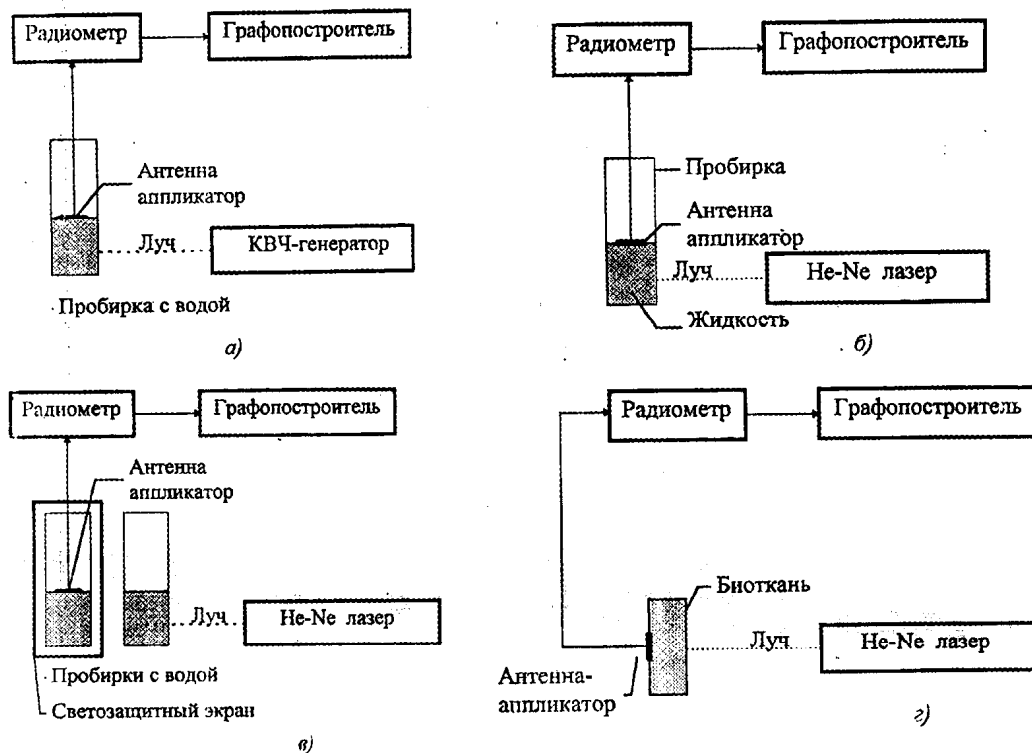


Рис.1. Схема экспериментов а) по КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии, б) по возбуждению лазерным излучением генерации радиоволн жидкими средами, в) по переизлучению радиоволн водой, возбуждаемой лазерным излучением, г) по возбуждению лазерным излучением генерации радиоволн биотканью.

Приёмная антенна-аппликатор приводится в контакт с исследуемой средой. Поток излучения от КВЧ генератора или лазера направляется на среду. СВЧ сигнал, стимулированный в среде КВЧ волнами или лазерным излучением подается на радиометр и регистрируется индикатором любого типа (графопостроитель, монитор).

При исследовании влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на различные среды в наших исследованиях описанный выше принцип метода и его техническая реализации были сохранены с той лишь разницей, что КВЧ генератор заменялся на гелий-неоновый лазер. Нами использовался 3-х частотный He-Ne лазер ЛГ-126 с длинами волн 0,63 мкм, 1,15 мкм, 3,39 мкм (плотность мощности на объекте - 10 мВт/см^2 , экспозиция - 100 с).

Результаты и их обсуждение. На рис. 2 показаны резонансные спектры, регистрируемые при КВЧ облучении бидистиллированной воды (а) и тканей организма человека в норме (б), полученные при постановке эксперимента по схеме рис.1, а.

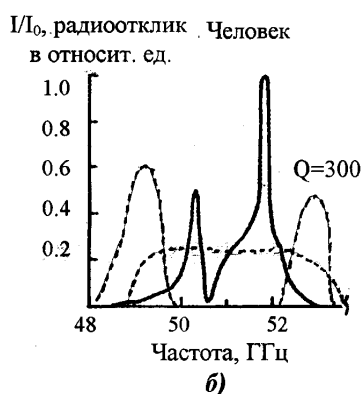
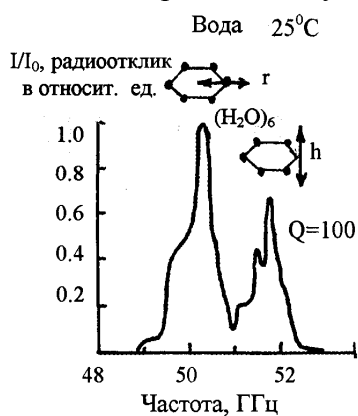


Рис.2. Резонансные спектры а) бидистиллята воды, б) тканей организма человека в норме. Штриховые линии «аномальные» резонансы при различных заболеваниях. Вставки - гексагональные фрагменты молекул воды и типы резонансных колебаний. Q - добротность

На рис. 2,б штриховыми линиями показан пример аномальных резонансов, возникающих в ткани в условиях патологии. Как можно видеть, резонансные спектры воды и биотканей в норме имеют черты сходства, и в то же время различаются по ширине (добротности) резонансных пиков. В биотканях основные резонансные максимумы заметно уже, чем у воды, что отражает более высокий уровень структурной организации системы. В патологии резонансные спектры отклоняются от их «нормальных» значений по частоте, амплитуде и добротности. В процессе лечения восстановление функции органа сопровождается нормализацией его резонансных характеристик.

На рис.3 представлена временная динамика радиосигналов, возбуждаемых в различных средах лазерным излучением.

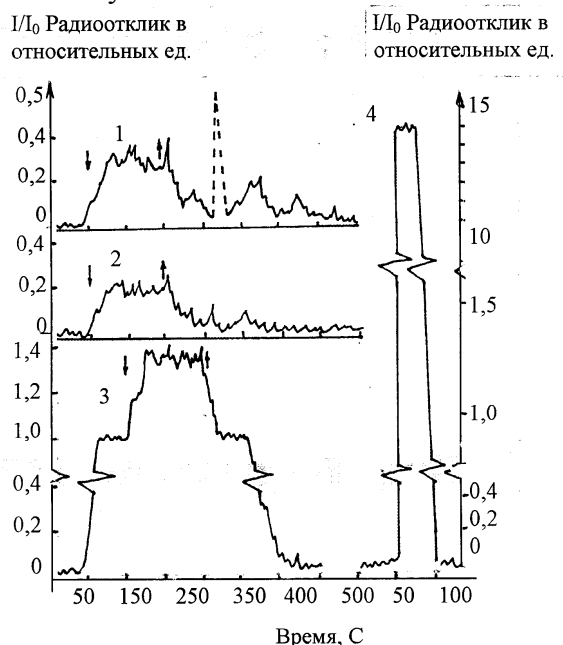


Рис.3. Временные зависимости радиооткликов различных сред на лазерное воздействие при комнатной температуре. Кривая 1 - радиосигнал от бидистиллята воды при прямом облучении лазерным лучом, кривая 2 - радиосигнал от светоизолированного бидистиллята воды, индуцированный радиоизлучением от подвергнутого лазерному облучению бидистиллята, кривая 3 - радиосигнал от биоткани, кривая 4 - радиосигнал от бидистиллята воды при КВЧ воздействии на резонансной частоте 50.3 ГГц мощностью около 0.01 мкВт/см². Стрелками указаны моменты начала и окончания лазерного воздействия. Штриховая линия - спонтанный всплеск радиоизлучения.

Как следует из рисунка, в ходе эксперимента, выполненного по схеме, показанной на рис.1.б, обнаружено появление радиоизлучения, генерируемого водой в процессе лазерного облучения на длине волны 0,63 мкм (кривая 1). Сразу после начала лазерного воздействия наблюдается крутой рост амплитуды принимаемого радиосигнала, который достигает

максимума и сохраняется до прекращения фотовоздействия. Обращает на себя внимание длительная релаксация радиоотклика после прекращения лазерного воздействия, которая является результатом сохранения возбуждённого колебательного состояния воды. Отметим, что в ряде случаев на стадии релаксации возникают спонтанные всплески радиоизлучения (штриховая линия на кривой 1). Их можно объяснить случайной самосинхронизацией колебаний возбуждённой водной среды.

Дополнительным подтверждением выявленного феномена генерации радиосигнала водой при ее лазерном облучении являются результаты второго эксперимента, выполненного по схеме, представленной на рис.2.в. В этой случае вода, заключённая в светозащитный, но радиопрозрачный экран, принимала радиосигнал от воды возбуждаемой прямым лазерным облучением (кривая 2). Вопрос о возможности артефакта, связанного с приёмом СВЧ гармоник, предположительно имеющихся в лазерном луче, или поступающих из области оптического резонатора, снимается, поскольку при прямом воздействии лазерного луча на светоизолированную воду радиоотклика не наблюдалось.

На кривой 3 показан радиоотклик биоткани (кисть руки человека) на лазерное воздействие. Кривая 3 требует дополнительных пояснений. Ступенька, присутствующая на кривой до и после лазерного воздействия, обусловлена радиотепловым фоном тела. Этот уровень выбран реперным и принят за 1. Вторым реперным уровнем выбран радиотепловой фон воды при комнатной температуре (25°C), принимаемый за 0 отсчёта. Для сравнительной оценки величины стимулированного лазером радиоизлучения приведена кривая 4, отражающая уровень радиоотклика на КВЧ воздействие на резонансной частоте 50,3 ГГц мощностью около $0,01 \text{ мкВт/см}^2$. По сравнению с ним (как следует из сопоставления кривых 1-3 и 4) эквивалентная мощность лазерного воздействия на водные среды на 1-2 порядка ниже, то есть ориентировочно находится на уровне $10^{-9} - 10^{-10} \text{ Вт/см}^2$. Таким образом, результаты проведенных экспериментов свидетельствуют о возбуждении в воде и биотканях генерации слабого радиоизлучения в процессе их облучения светом низкоинтенсивного He-Ne лазера с длиной волны 0.63 мкм.

Дадим интерпретацию обнаруженному эффекту возбуждения лазерным излучением радиоволн в водосодержащих средах. В основу объяснения механизма генерации могут быть положены существующие представления о структуре воды.

Известно (см. [1-3], а также статью авторов в данном журнале), что молекулярная структура конденсированной фазы воды представляет собой равновесную смесь гексагональных фрагментов $(\text{H}_2\text{O})_6$, в которых кислород находится в четырехвалентном sp^3 гибридном состоянии, и трехатомных молекул H_2O , в которых кислород находится в основном двухвалентном состоянии s^2p^2 , соответствующем свободным молекулам (назовём их квазисвободными) (см. также статью авторов в данном журнале). Исследования, проведенные нами ранее, показали, что в воде и тканях организма человека в норме существуют резонансно-волновые молекулярные процессы. Установлены резонансы колебаний водных сред на частотах вблизи 50,3 ГГц и 51,8 ГГц (см.рис.2). Эти две резонансные частоты связаны с двумя типами колебаний гексагональных колец: радиальными (r) на частоте 50,3 ГГц и поперечными (h) на частоте 51,8 ГГц. Идентичность резонансных частот биотканей и воды имеет принципиальное значение и указывает на единую физическую природу резонансного состояния в биологических и водных средах. Последнее связано с резонансными колебаниями молекулярных структур водной компоненты, являющимися источником собственных и стимулированных, в том числе лазерным излучением, резонансных КВЧ волн [1-3].

Обсудим, что может происходить на молекулярном уровне с водной средой при воздействии лазерным излучением и что выступает в роли первичного фоторецептора.

Что касается воды, то возможности здесь две: такими фоторецепторами могут являться водород или кислород. Однако, спектр электронного поглощения атомов водорода лежит в области ультрафиолета - длина волны основного перехода $\lambda=0.1 \text{ мкм}$ (серия Лаймана), что далеко от красной линии лазерного излучения $\lambda=0.63 \text{ мкм}$. Следовательно, можно полагать,

что фоторецептором в данной молекулярной системе является кислород. По спектроскопическим данным энергия электронного возбуждения атомов кислорода практически совпадает с энергией лазерного кванта. Длина волны $\lambda=0,63$ мкм соответствует переходу между основными триплетным и синглетным термами кислорода $3P_{210} \rightarrow {}^1D_2$. Можно предположить, что резонансное поглощение кислородом кванта с длиной волны $\lambda=0,63$ мкм когерентного монохроматического лазерного излучения ответственно за возбуждение радиоволн в воде. Однако в жидкой фазе воды атом кислорода (как упоминалось выше) находится в двух электронных состояниях - четырехвалентном в гексагональных кольцах и двухвалентном в квазисвободных трёхатомных молекулах воды. Поэтому возникает задача определить, является ли кислород фотоакцептором и какое из состояний кислорода ответственно за фотопоглощение. (Растворённый кислород, ввиду ничтожно малых концентраций во внимание не принимается). В связи с этим были проведены тестовые эксперименты по лазерному воздействию на специально подобранные вещества:

1 - бидистиллят воды	$(H-O-H)_6 + H-O-H$,	9 - гексан	$CH_3(CH_2)_4CH_3$,
2 - этиловый спирт	C_2H_5-O-H (96%)	10 - параксилол	C_8H_{10} ,
3 - ацетон	$(CH_3)_2C=O$,	11 - гептан	$CH_3(CH_2)_5CH_3$,
4 - диметилсульфоксид	$(CH_3)_2S=O$,	12 - бензин	$\sum C_n H_{2n+2}$ (n=5-9),
5 - формамид	$CH_3-O\equiv N$,	13 - оливковое масло,	
6 - метаксилол	$C_6H_4(CH_3)_2$,	14 - бидистиллят воды (облучение на гармонике 1.15 мкм),	
7 - бензол	C_6H_6 ,	15 - бидистиллят воды (облучение на гармонике 3.39 мкм).	
8 - толуол	$C_6H_5CH_3$,		

Критерием подбора служил факт присутствия кислорода и его валентное состояние. Согласно критерию дадим веществам характеристику. Бидистиллят воды (1), содержит кислород в двух состояниях - четырёхвалентном $(H-O-H)_6$ и двухвалентном $H-O-H$. По-видимому, как ассоциативные жидкости, также содержат кислород в четырёхвалентном состоянии этиловый спирт с малым содержанием воды (2), ацетон (3), диметилсульфоксид (4), формамид (5), а углеводороды (6-13) в своём составе химически связанный кислород не содержат. Эксперименты проводились по схеме рис.1,б. Опыты показали, что при лазерном облучении различных сред возникают радиоотклики, различающиеся по амплитуде. Для наглядности результаты сведены в гистограмму, где высота столбцов соответствует максимумам радиооткликов, нормированных к радиоотклику воды, принятому за 100% - столбец 1. Пробы 1-13 облучались лазером на длине волны 0,63 мкм, а пробы 14, 15 - на гармониках лазера 1.15 мкм и 3,39 мкм. На гистограмме представлены амплитуды радиооткликов отобранных веществ на лазерное излучение.

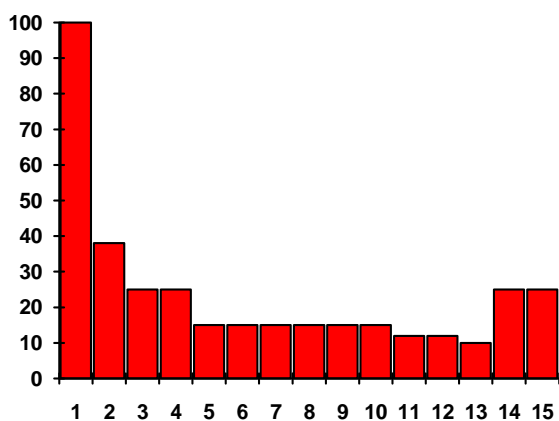


Рис.4. Гистограмма радиооткликов различных веществ на лазерное облучение. Пояснения в тексте.

Из гистограммы следует, что во всех тестовых веществах, не содержащих кислорода углеводородах (6-13) и соединениях (3-5), содержащих кислород в четырёхвалентном состоянии, лазерное облучение в силу рассеяния квантов приводит лишь к небольшому повышению шумового радиоизлучения, не превышающего 15% - 25% от лазериндуцированного радиоизлучения воды (1). В то же время спирт (2), содержащий воду, имеет более высокий радиоотклик - 38%. Следовательно, сам факт наличия кислорода в структуре сложных молекул не является достаточным для поглощения лазерных квантов и

генерации радиоизлучения. Важна электронная структура, в которой находится атом кислорода. Очевидно, в сложных химических соединениях электронные спектры кислорода отличаются от спектров свободного атома. Из исследованного набора веществ с кислородом (2-4) единственным веществом, дающим особо выраженную реакцию на лазерное воздействие, является вода, содержащая двухвалентный кислород. Очевидно, именно двухвалентный кислород, входящий в состав трёхатомных квазисвободных молекул воды сохраняет способность к резонансному поглощению квантов с длиной волны вблизи 0,63 мкм и даёт преимущественный вклад в радиоизлучение. О резонансном характере поглощения свидетельствует также низкий уровень взаимодействия воды с лазерным излучением на гармониках $\lambda=1.15$ мкм и $\lambda=3.39$ мкм (пробы 14, 15). Вода, являясь ассоциативной жидкостью, подобно жидкому кристаллу, постоянно обменивается энергией между своими частями. При резонансном поглощении оптических квантов кислородом в квазисвободных молекулах возможна передача энергии безызлучательным путём в колебательную энергию гексагональной молекулярной компоненты воды. Вызываемое этим увеличение интенсивности колебаний гексагональных структур воды может служить источником излучения радиоволн в КВЧ диапазоне. Последнее обосновывается КВЧ резонансными спектрами воды (см. рис.2). Кстати, все исследованные вещества также имеют спектры частот собственных молекулярных колебаний в КВЧ диапазоне, но не дают сравнимых с водными СВЧ радиооткликов. Из-за экономии места эти резонансные спектры не приводятся.

Таким образом, результаты данного исследования дают основание для предположения об участии кислорода, входящего в структуру водных сред, включая биологическую среду, в резонансной акцепции квантов низкоинтенсивного лазерного излучения на длине волны 0,63 мкм и возбуждении генерации КВЧ радиоволн водосодержащими средами. Этим можно объяснить биологическую активность излучения He-Ne лазера и сходство лазеротерапии с КВЧ терапией. Безусловно, для окончательного обоснования механизма обнаруженной генерации радиоволн необходимы дальнейшие исследования с прямой регистрацией КВЧ излучения (см. работу авторов в первом номере журнала).

ВЫВОДЫ

1. При воздействии на воду и биоткани низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 0.63 мкм возникает генерация радиоизлучения.

2. Полученные экспериментальные результаты позволяют предположить, что в роли первичного акцептора квантов лазерного излучения и источника генерации радиоволн в водных и биологических средах выступает кислород, структурно связанный в молекулах воды.

Данные результаты имеют принципиальное значение для физики воды, радиофизики, биофизики, медицины и сельского хозяйства.

Работа включена в Федеральную целевую программу “Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997 - 2000 годы” по проекту 696.3

Литература.

Петросян В.И., Гуляев Ю.В., Житенёва Э.А., Ёлкин В.А., Сеницын Н.И. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ диапазона. // Радиотехника и электроника. 1995. Т. 40. В.1. С. 127 -134.

Петросян В.И., Житенёва Э.А., Гуляев Ю.В., Девятков Н.Д., Ёлкин В.А., Сеницын Н.И. Физика взаимодействия ММ волн с объектами различной природы. // Радиотехника. 1996. № 9. Журнал в журнале Биомедицинская радиоэлектроника. № 3. С. 20 - 31.

Сеницын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.А., Девятков Н.Д., Гуляев Ю.В. Особая роль системы “ММ-волны - водная среда” в природе. // Биомедицинская радиоэлектроника. 1998. № 1. С. 4 -27.