

МЕХАНИЗМЫ БИОАКТИВНОСТИ He-Ne ЛАЗЕРА

Петросян В.И., Бриль Г.Е *

Саратовское отделение Института радиотехники и электроники РАН,

*Центральная научно-исследовательская лаборатория

Саратовского государственного медицинского университета

Энергетические соображения по механизму лазерного действия.

Отсутствие ясности в понимании механизмов взаимодействия лазерного излучения на длине волны $\lambda=0,63$ мкм с биосредами не остановило процесс широкого внедрения в медицинскую практику лазерных технологий, но и не лишило оснований для критических замечаний о возможном деструктивном действии излучения. Использование низкого, нетеплового уровня плотности мощности излучения $P=10$ мВт/см² не является оправдательным аргументом.

Плотность падающей мощности равна произведению энергии кванта света $E=h\nu=hc/\lambda$ и числа фотонов n , падающих в единицу времени на единицу поверхности: $P = h\nu \cdot n$ (здесь ν – частота, h – постоянная Планка, c – скорость света). Энергия кванта излучения He-Ne-лазера составляет $E \sim 3,1510^{-18}$ Дж ≈ 2 эВ. Тогда плотности мощности излучения $P=10$ мВт/см² соответствует плотность потока фотонов $n=P/h\nu \sim 3 \cdot 10^{18}$ см⁻²с⁻¹. Это означает, что при поверхностной плотности молекул мишени $\sigma \sim 10^{15}$ см⁻², каждая молекула поверхности подвергается с некоторой вероятностью попадания в сечение взаимодействия бомбардировке $n/\sigma \sim 1000$ фотонов ежесекундно!

Теперь можно приступить к обсуждению вопроса о возможных механизмах лазерного воздействия на биосреды. В основном, биосреды состоят из двух компонент: водной (на 70-80%) и биоорганической со слабыми водородными и прочными ковалентными химическими связями. В органических соединениях

энергия определяющих связей С-С, С-О, С-Н, С-Н, N-H лежит в интервале $E \sim 3...5$ эВ. В водной среде энергия ковалентной О-Н и водородной $O\cdots H$ связей, соответственно, равна $E_{O-H}=5$ эВ и $E_{O\cdots H}=0,2$ эВ.

Следовательно, при одноквантовых процессах взаимодействия лазерный квант способен воздействовать только на водородную связь, хотя при многоквантовых процессах, что значительно менее вероятно, возможно вмешательство в структуру биоорганики. Изложенные соображения дают основания полагать, что основной мишенью воздействия лазерного излучения является водная компонента биосреды и, конкретно, элементарное звено ее – водородная связь.

Идеология и метод исследования.

Вода является основным компонентом живых организмов. Органы взросло

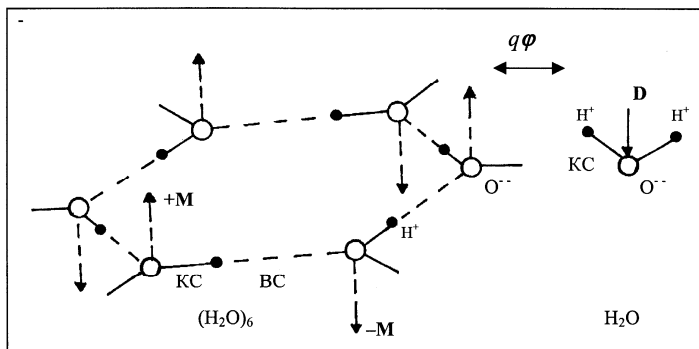


Рис. 1. Гексагональный и трехатомный фрагменты молекулярной структуры воды: BC, KC – водородная и ковалентная связи, M , D – магнитный и электрический дипольный моменты, $q\varphi$ – вектор направления колебаний структур.

лого человека содержат

70...80% воды, полуторамесячный зародыш – 97 %, а новорожденный – 72 %. На долю молекул воды приходится свыше 90% всей массы клетки. Вода в биосистемах играет не только роль универсального растворителя и транспортной среды в

процессах метаболизма. Она находится в особом, резонансно-волновом состоянии, выполняя в жизнедеятельности более фундаментальную – коммуникационно-корректирующую функцию [1-3].

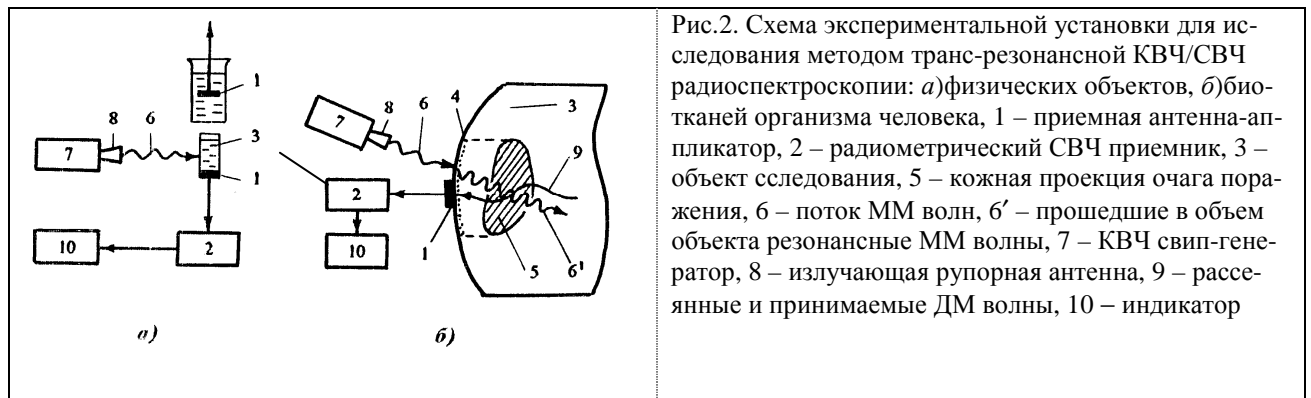
Вода в жидкой фазе имеет сложную структуру, унаследованную от молекулярной структуры льда и пара. Молекулярные фрагменты этих структур изображены на рис. 1. Структуру воды составляет равновесная смесь гексагональных $(H_2O)_6$ и трехатомных H_2O молекул. Первые имеют антипараллельные маг-

нитные, а вторые – электрические дипольные моменты. Благодаря им в воде образуются фрактальные молекулярные структуры. Соотношение концентраций и размеров фракталов определяют структурно-волновое состояние водного матрикса. (Фракталы – самоподобные образования, различающиеся масштабом. Аналогии – лист папоротника, матрёшка, гексагональная молекула – шестиугольная снежинка).

Фрактальные структуры находятся в колебательном состоянии и формируют систему связанных между собой осцилляторов. Их колебания, самосинхронизируясь в живом организме, создают собственное низкоинтенсивное резонансное электромагнитное волновое поле. Следовательно, водный матрикс благодаря резонансному полю имеет пространственную и временную самоорганизацию, чувствительный к ее нарушениям и способный их корректировать. Это свидетельствует о биоинформационных и регуляторных свойствах водного матрикса в биосистемах. Исследование структурно-волновой эволюции водного матрикса в процессе нормальной жизнедеятельности, в условиях дисфункции и патологии до последнего времени было невозможно, да такая задача и не могла возникнуть ввиду отсутствия соответствующей идеологии и аппаратуры для проведения подобного рода наблюдений.

Авторами [1,2] разработан и успешно апробирован в Центральной научно-исследовательской лаборатории Саратовского государственного медицинского университета принципиально новый метод исследования скрытых молекулярно-волновых процессов в биологических и физико-химических объектах – транс-резонансная КВЧ/СВЧ-радиоспектроскопия. В этом методе радиоспектроскопии впервые используется обнаруженное авторами [1,2] **явление резонансного пропускания** ММ радиоволн водными и биологическими средами. Этим он принципиально отличается от известных методов абсорбционной спектроскопии, основанных на резонансном поглощении волн. Поэтому в названии присутствует приставка «транс».

Сущность метода заключается в том, что воздействие на исследуемый объект ведется в диапазоне КВЧ (КВЧ – крайне высокие частоты, соответствующие миллиметровым (ММ) длинам волн), а радио-отклик, реакция объекта на зондирующее КВЧ воздействие регистрируется в СВЧ диапазоне (СВЧ – сверхвысокие частоты, соответствующие дециметровым (ДМ) длинам волн). Это глубокое преобразование частот КВЧ→СВЧ, или длин волн из ММ в ДМ диапазон является результатом активного взаимодействия зондирующих ММ волн с молекулярной средой объекта, благодаря чему сигнал радио-отклика насыщается информацией о функциональном состоянии объекта. Амплитудно-частотная характеристика радио-отклика, или спектр представляется, таким образом, новым радиофизическим параметром, несущим в себе ранее недоступную информацию о внутреннем молекулярно-волновом состоянии объекта. Особенность взаимодействия ММ волн с ассоциированными молекулярными средами, таких как вода, биосубстрат или биоткань, заключается в том, что их собственные молекулярные частоты колебаний находятся в ММ (КВЧ) диапазоне. Именно поэтому при совпадении частот внешнего КВЧ излучения с частотами собственных молекулярных колебаний среды, последняя для внешнего излучения становится прозрачной, ММ волны проникают в объем среды, где и происходит их активное взаимодействие на молекулярно-волновом уровне. Регистрируемый при этом спектр радиоотклика на КВЧ зондирование имеет ярко выраженный острорезонансный характер. На рис. 2 представлена схема транс-резонансной радиоспектроскопии субстратов и биотканей организма человека.



Экспериментальный комплекс для этого метода состоит из КВЧ свип-генератора, работающего в диапазоне частот 48...53 ГГц с выходной мощностью $\sim 20...50$ мкВт, высокочувствительного радиометрического СВЧ приемника с чувствительностью 10^{-17} Вт (0,1 К), полосой приема 975-1025 МГц и приемной антенны-аппликатора.

Эксперименты проводились следующим образом. Приемная антенна-аппликатор приводилась в контакт с исследуемой средой. Поток излучения от КВЧ генератора или лазера направлялся на среду, и СВЧ радиосигнал, стимулированный падающим излучением, подавался на радиометр и регистрировался на графопостроителе.

Нет необходимости приведения всех обнаруженных резонансных частот водосодержащих сред. Они неоднократно публиковались в работах [1-3]. Достаточно привести две, наиболее чувствительные к состоянию сред. Это частоты вблизи 50,3 ГГц и 51,8 ГГц. Резонансный спектр исследуемого объекта формируется при изменении (свицировании) частоты внешних радиоволн в интервале 48...53 ГГц ($\lambda=6,25...5,66$ мм). На рис. 3 показаны резонансные спектры бидистиллята воды и биоткани человека в норме.

Их соответствие по резонансным частотам подтверждает положение об определяющей роли водной компоненты в молекулярно-волновых процессах жизнедеятельности.

В качестве исследуемых объектов использовались компоненты крови белых крыс и для сравнения – бидистиллят воды. На рис. 4 приведены резонансные спектры гепарированной цельной крови – плазмы, сыворотки, гемолизата эритроцитов и бидистиллята воды. На спектрах четко выражены **два основных водных** резонансных пика. В то же время наблюдается специфика резонансной структуры биосубстрата, что проявляется в смещении, хотя и небольшом, резонансных частот, присутствии слабых дополнительных резонансов, изменении амплитуды и ширины пиков.

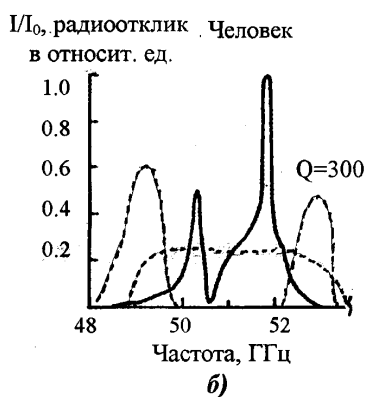
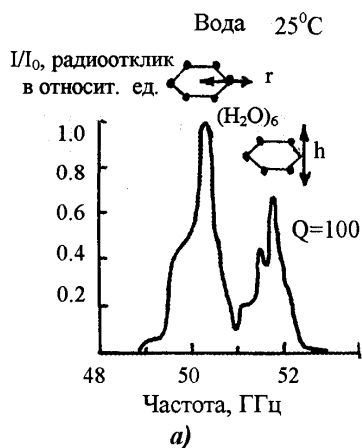


Рис.2. Резонансные спектры а) бидистиллята воды, б) тканей организма человека в норме. Штриховые линии «аномальные» резонансы при различных заболеваниях. Вставки - гексагональные фрагменты молекул воды и типы резонансных колебаний. Q - добротность

После таких исходных измерений каждый образец подвергался облучению He-Ne-лазером с экспозицией 15 мин., плотностью мощности 5 мВт/см² и проводилось повторное снятие спектров сразу за лазерным облучением и спустя 15 мин. как результат последствия, или релаксации.

Проведенные исследования показывают, что низкоинтенсивное лазерное излучение вызывает заметную структурную альтерацию крови и её компонентов. При этом конечный результат в значительной мере определяется исходным составом и состоянием исходного материала, а также временем релаксации после лазерного облучения. Выявляются два принципиально возможных типа откликов. Это, наблюдаемое в 90% анализируемых проб, увеличение у цельной крови и уменьшение у сыворотки крови на 15-20% амплитуды резонансных пиков, и незначительный на 5-10% рост у плазмы крови и снижение амплитуды у гемолизата эритроцитов. Это интерпретируется как значимые

деструкция цельной крови и структуризация сыворотки крови, и незначительные деструкция плазмы крови и структуризация гемолизата эритроцитов. Отмечается и определенная динамика спектров в течение 15-минутной релаксации вслед за прекращением лазерного воздействия. В период релаксации наблюдались: продолжение деструкции цельной крови и структуризации гемолизата эритроцитов, что указывает на незавершенность процессов лазерного действия, и тенденция к восстановлению исходного состояния у плазмы и сыворотки крови. Последнее свидетельствует о проявлении эффекта «пружины», то есть о возможности накопления и последующей реализации энергии при лазерной на-

качке. В 10% проб реакция на лазерное облучение практически отсутствовала. Необходимо отметить наличие особенностей реакции на лазерное воздействие различного биосубстрата, полученного от одного и того же животного. Так, в ряде образцов цельная кровь и гемолизат эритроцитов животного отчётливо реагировали на облучение, тогда как плазма крови оставалась к нему индифферентной.

Примечательно, что аналогичное поведение демонстрирует и вода. Остановимся на некоторых физических аспектах явления. Рассмотрим модель молекулярных реакций ассоциации-диссоциации фрактальной структуры воды, то есть среды, являющейся основой биосубстратов. Обоснованием такой модели служит эволюция резонансного спектра бидистиллята воды в процессе её стабилизации («старения»). На рис. 5,а показаны спектры при 20 °С свежеконденсированного бидистиллята воды (сплошная кривая) и спектр выдержанного, двухсуточного бидистиллята воды (штриховая линия), стрелками указаны взаимные обращения спектров под воздействием лазерного облучения.

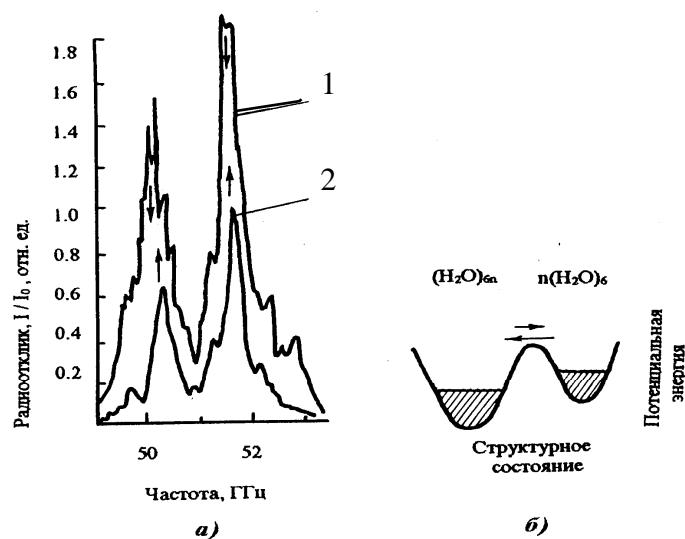


Рис. 5. Пояснения механизма лазерного действия на водосодержащие среды:

а) динамика изменений резонансных спектров воды в процессе естественного «старения» - превращение 1→2 и при лазерном воздействии - переходы 1↔2,

где 1 - свежеконденсированный бидистиллят (деструктурированный),

2 - бидистиллят двухсуточной выдержки (структурированный),

↓ - направление структурирования,

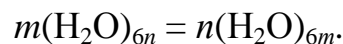
↑ - направление деструктурирования,

б) потенциальный профиль превращений.

По нашим данным, амплитуда резонансных пиков связана с диссипацией (рассеянием) энергии зондирующих ММ волн на неоднородностях структуры, что означает, чем выше дисперсность, и, соответственно, энтропия среды, тем

амплитуда резонансных пиков больше, и наоборот. Следовательно, вода может быть подвержена как диссоциативным, так и ассоциативным молекулярно-структурным процессам. Поэтому динамика амплитуды спектров в процессе стабилизации воды в сторону уменьшения интерпретируется как результат спонтанной ассоциации (квазикристаллизации) молекулярной водной среды.

При лазерном облучении происходит накачка дополнительной энергией ($h\nu$), которая в зависимости от исходного состояния среды утилизируется по-разному. Потенциальный профиль реакций ассоциации-диссоциации изображён на рис. 5,б где стрелками показано направление реакции, E_a – потенциальный барьер, Q – теплота реакции. Более глубокая потенциальная яма ассоциированного состояния отражает спонтанность ассоциативного процесса.. Напомним, что вода может представлять собой фракталы различной величины, состоящие из определенного числа элементарных гексагональных колец. Если в некотором объёме водосодержащей среды находится N молекул, в исходном состоянии объединённых в m фракталов, состоящих из n гексагональных колец каждый, а в результате превращения среда переходит в состояние с n фракталами из m колец ($N=mn$), то схематично превращения ассоциация-диссоциация среды при лазерном воздействии можно представить в виде:



Когда среда находится в более ассоциированном состоянии, лазерный квант вызывает кратковременную диссоциацию фрактальной структуры водной компоненты биосреды. Если среда находится в неравновесном диссоциированном состоянии, то лазерное излучение приводит к ассоциации молекулярной структуры. При некотором промежуточном состоянии процессы ассоциации – диссоциации уравниваются, и лазерное воздействие не проявляется.

Возбуждение лазерным излучением радиоволн (опто-радиоволновая люминесценция) и механизм лазеротерапии [6].

Успехи в области КВЧ терапии и углубление понимания механизмов взаимодействия ММ электромагнитных волн с водными и биологическими сре-

дами свидетельствуют об участии системы “ММ волны - водная среда” в фундаментальных процессах обеспечения жизнедеятельности организмов. Такой взгляд основан, как отмечалось выше, 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 КВЧ волн прямо или косвенно в процессах взаимодействия лазерного излучения с биосредами. Использование разработанного нами прецизионного метода транс-резонансной радиоспектроскопии позволяет в определенной степени прояснить проблему.

Эксперименты проводились по схемам рис. 6. При исследовании влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на различные среды описанный выше принцип транс-резонансной радиоспектроскопии и его техническая реализация были сохранены с той лишь разницей, что КВЧ генератор заменялся на гелий-неоновый лазер – ср. рис. 6,а с рис. 6,б,в,г. В данной серии экспериментов использовался 3 частотный He-Ne лазер ЛГ-126 с длинами волн 0,63; 1,15 и 3,39 мкм с плотностью мощности на объекте 10 мВт/см^2 с экспозицией 100 сек. На рис. 7 представлена временная динамика радиосигналов, возбуждаемых различными средами лазерным излучением.

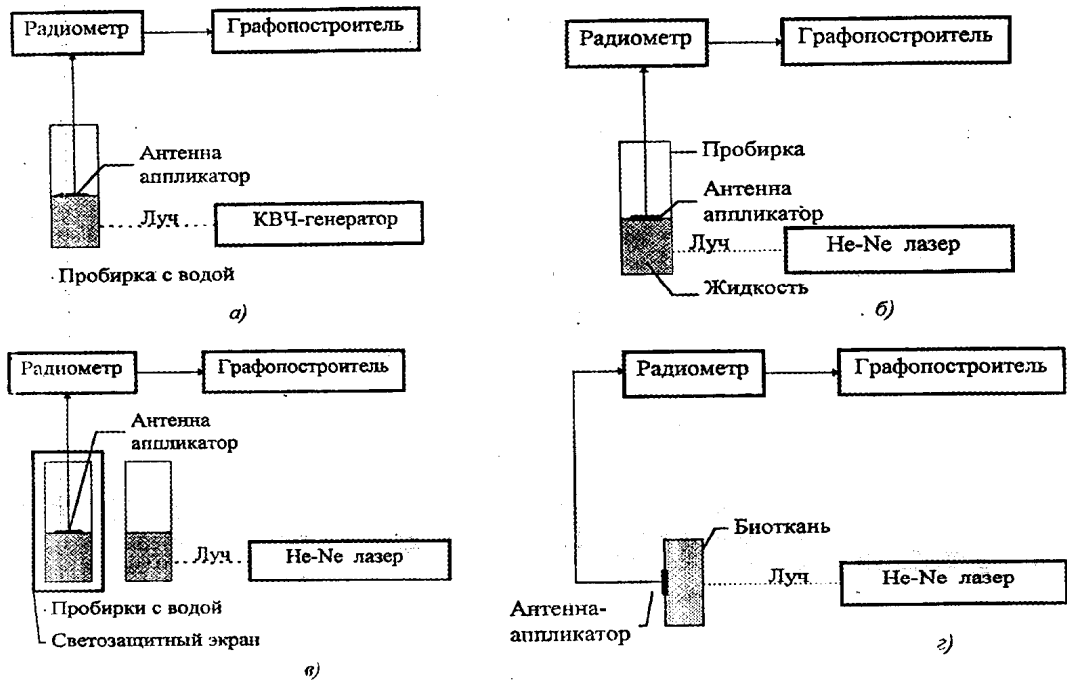


Рис.1. Схема экспериментов а) по КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии, б) по возбуждению лазерным излучением генерации радиоволн жидкими средами, в) по переизлучению радиоволн водой, возбуждаемой лазерным излучением, г) по возбуждению лазерным излучением генерации радиоволн биотканью.

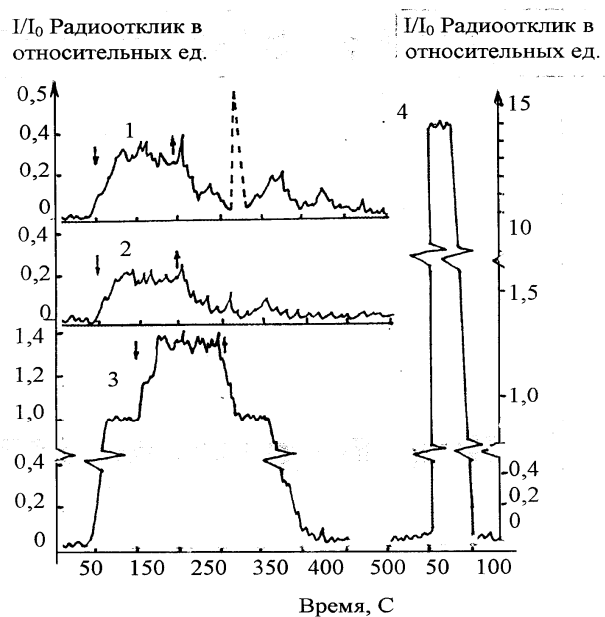


Рис.3. Временные зависимости радиооткликов различных сред на лазерное воздействие при комнатной температуре. Кривая 1 - радиосигнал от бидистиллята воды при прямом облучении лазерным лучом, кривая 2 - радиосигнал от светоизолированного бидистиллята воды, индуцированный радиоизлучением от подвергаемого 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 рис 7, кривая 1 в ходе эксперимента, выполненного по схеме рис.6,б, обнаружено появление радиоизлучения, генерируемого водой в процессе лазерного облучения на длине волны 0,63 мкм. 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 – см. кривую 2, выполненного по схеме рис.6,в. В этом случае вода, заключённая в светозащитный, но радиопрозрачный экран, принимала радиосигнал от воды, возбуждаемой прямым лазерным облучением. Вопрос о возможности артефакта, связанного с приёмом СВЧ гармоник, предположительно, имеющих в лазерном луче, или поступающих из области оптического резонатора, снимается, поскольку при прямом воздействии лазерного луча на светоизолированную воду радио-отклика не наблюдалось.

На кривой 3 показан радио-отклик биоткани (кисть руки человека) на лазерное воздействие, полученный в эксперименте по схеме рис. 6,г. 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 радио-отклика на КВЧ воздействие на резонансной частоте 50,3 ГГц мощностью около $0,01 \text{ мВт/см}^2$. 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.

Выше упомянуто, что молекулярная структура конденсированной фазы воды представляет собой равновесную смесь гексагональных фрагментов $(\text{H}_2\ddot{\text{O}})_6$ и трехатомных молекул H_2O . В первых кислород находится в четырехвалентном sp^3 -гибридном состоянии, а во вторых – в основном, двухвалентном состоянии s^2p^2 , соответствующем свободным молекулам (назовём их квазисвободными). Здесь уместно повторить, 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. 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 (см. рис. 1 и 3). Идентичность резонансных частот биотканей и воды имеет принципиальное значение и указывает на единую физическую природу резонансного состояния биологических и водных сред. Последнее связано с резонансными колебаниями молекулярных структур водной компоненты, являющимися источником собственных и стимулированных, в том числе, лазерным излучением, резонансных КВЧ волн.

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 $\lambda=0.1$ мкм (серия Лаймана), что далеко от красной линии лазерного излучения $\lambda=0.63$ мкм. Следовательно, фоторецептором в данной молекулярной системе может являться только 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

Критерием подбора служил факт присутствия кислорода и его валентное состояние. Согласно этому дадим веществам характеристику. Бидистиллят воды (1), содержит кислород в двух состояниях – четырёхвалентном $(\text{H}-\ddot{\text{O}}-\text{H})_6$ и двухвалентном $\text{H}-\text{O}-\text{H}$. 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.

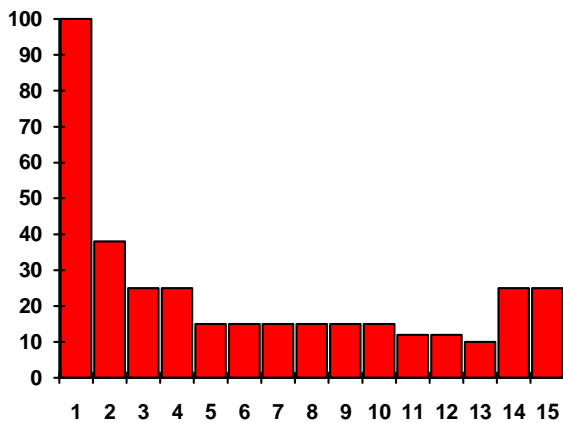


Рис.4. Гистограмма радиооткликов различных веществ на лазерное облучение. Пояснения в тексте.

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 радиоизлуче-

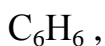
ния, не превышающего 15% - 25% от лазериндуцированного радиоизлучения воды (1). В то же время спирт (2), содержащий воду, имеет более высокий радиоотклик - 38%. Следовательно, сам факт наличия кислорода в структуре сложных молекул не является достаточным для поглощения лазерных квантов и генерации радиоизлучения. 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

Было обнаружено, что 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 возможностей здесь две: такими фоторецепторами могут являться водород или кислород. Однако, спектр электронного поглощения атомов водорода лежит в области ультрафиолета – длина волны основного перехода $\lambda=0.1$ мкм (серия Лаймана), что далеко от красной линии лазерного излучения $\lambda=0.63$ 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 (как было упомянуто 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 | 8. толуол |
| (H-Ö-H) ₆ +H-O-H, | C ₆ H ₅ CH ₃ , |
| 2. этиловый спирт | 9. гексан |
| C ₂ H ₅ -O-H (96%) , | CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃ , |
| 3. ацетон | 10. параксиллол |
| (CH ₃) ₂ C=O, | C ₈ H ₁₀ , |
| 4.димсульфоксидетил | 11. гептан |
| (CH ₃) ₂ S=O | CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₃ , |
| 5 формамид | 12. бензин |
| CH ₃ -O≡N , | ∑C _n H _{2n+2} (n=5-9), |
| 6 метаксиллол | 13. оливковое масло, |
| C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ , | 14. бидистиллят воды |
| 7.бензол | (облучение на гармонике 1.15 мкм), |



15. бидистиллят воды

(облучение на гармонике 3.39 мкм).

Критерием подбора служил факт присутствия кислорода и его валентное состояние. Согласно критерию дадим веществам характеристику. Бидистиллят воды (1), содержит кислород в двух состояниях – четырёхвалентном (Н-О-Н)₆ и двухвалентном Н-О-Н. 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.

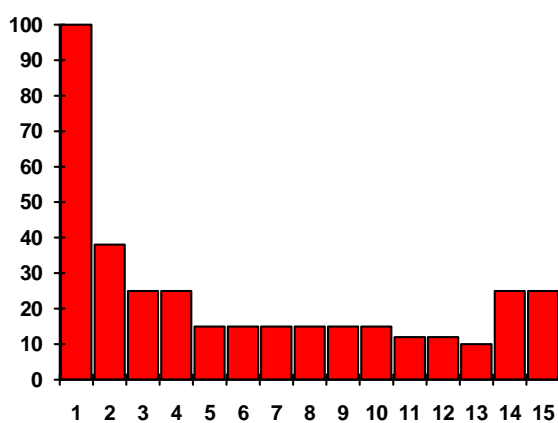


Рис.4. Гистограмма радиооткликов различных веществ на лазерное облучение. Пояснения в тексте.

Из гистограммы следует, что во всех тестовых веществах, не содержащих кислорода в 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), содер-

жащий 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. По-видимому, этим свойством обладают невалентные s^2 -электроны в отличие от валентных p^1p^1 электронов. 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 молекулярной компоненты воды. Последняя служит источником КВЧ волн. Дополнительным эффектом усиления КВЧ излучений служит синхронизация молекулярных колебаний когерентным лазерным излучением. Вызываемое этими факторами общее увеличение интенсивности собственных радиоизлучений биосреды в КВЧ диапазоне может являться причиной лечебного эффекта лазеротерапии. Последнее обосновывается КВЧ резонансными спектрами воды и биотканей (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. 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 прилазерном возбуждении.

Выводы.

1. Из сравнения энергии лазерного кванта (2 эВ) с энергией химических связей в биоорганических соединениях (3...5 эВ) и в водной компоненте биотканей ковалентной связи O-H (5 эВ) и водородной связи O...H (0,2 эВ) следует, что основной мишенью воздействия излучения HeNe лазера является вода и, конкретно, элементарным звеном ее – водородная связь.

2. При воздействии на воду и биоткани низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 0.63 мкм возникает генерация радиоизлучения КВЧ диапазона, что может трактоваться как стоксова люминесценция в радиодиапазоне, возбуждаемая оптическим излучением.

3. 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.

4. Возбуждение лазерным излучением КВЧ радиоволн, соответствующих естественным резонансным колебаниям молекулярной биосреды организма в норме по механизмам лечебного эффекта объединяет лазеротерапию с КВЧ терапией.

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.

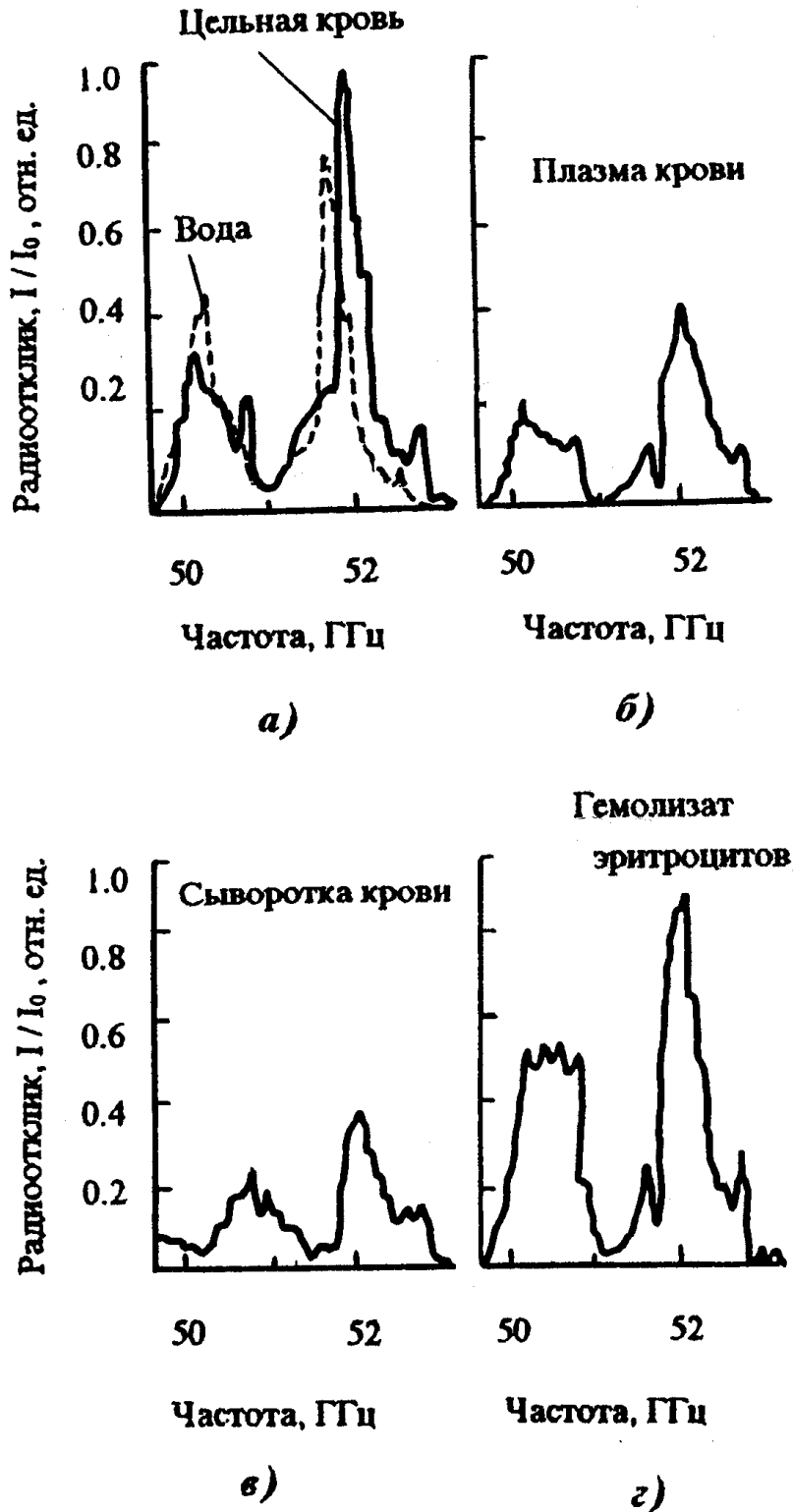
Петросян В.И., Житенёва Э.А., Гуляев Ю.В., Девятков Н.Д., Ёлкин В.А., Сеницын Н.И. Физика взаимодействия ММ волн с объектами различной природы. – Радиотехника. 1996, № 9. Журнал в журнале Биомедицинская радиоэлектроника. № 3. С. 20-31.

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.

4.Петросян В.И., Бриль Г.Е., Житенева Э.А., Гуляев Ю.В., Девятков Н.Д., Елкин В.А., Мартынов Л.А., Сеницын Н.И. Метод исследования измененных резонансных структур биологических жидкостей под действием низкоинтенсивного лазерного излучения. – Радиотехника. 1996, №9. Журнал в журнале. Биомедицинская радиоэлектроника. 1996, №3. С. 32-34.

5.Петросян В.И., Сеницын Н.И., Елкин В.А., Бриль Г.Е. Разумник Д.Е. Лазеро-стимулированные радиоизлучения биотканей и водных сред. – Биомедицинская радиоэлектроника. 2000, №2. С. 52-57.

6.Brill G.E., Petrosyan V.I., Zhytineva E.A., Sinitsin N.I., Kirichuk V.F., Vartinov L.A. Alteration of Resonance Structure of Water and Bioliqwids in Mikrowave Band under the Influence of He-Ne Laser Irradiation. – Light and Optics in Biomedicine. 2001, v. 4515. P. 50-53.



Резонансные спектры биосубстратов белых беспородных крыс а) гепарированной цельной крови и для сравнения бидистиллята воды (штриховая линия), б) плазмы крови, в) сыворотки крови, з) гемолизата эритроцитов