

Взаимодействие водосодержащих сред с магнитными полями

В.И.Петросян, Н.И.Синицын, В.А.Ёлкин, О.В.Башкатов

**Вольдемар Иванович
Петросян** —
см с 4

**Николай Иванович
Синицын** —
см с 3

**Владимир Александрович
Ёлкин** —
см с 4



**Олег Владимирович
Башкатов** —

физик-соискатель филиала каф.
вычислительной физики
и автоматизации науч.
исследований Саратовского гос.
ун-та при СО ИРЭ РАН
Научные интересы
физика взаимодействия
ММ волн с физическими
и биологическими объектами

С использованием разработанного метода трансмиссионно-резонансной КВЧ/СВЧ радиоспектроскопии впервые исследованы аномальные радиофизические свойства воды и биотканей в магнитных полях и обнаружен ряд принципиально важных эффектов

With use of the developed method of a transparent resonant UHF/MICROWAVE radio spectra abnormal physical properties of water and biofabrics in magnetic fields for the first time are investigated and a number(line) of the essentially important effects is found out

Исследование механизмов воздействия магнитного поля на водные и биологические среды, вызывающих качественные изменения их свойств, является одним из принципиальных вопросов. До сих пор информация о биологической активности "омагниченной воды" воспринимается скептически, потому что изменений свойств самой воды в магнитном поле не обнаружено. Биологическая активность проявляется лишь косвенно, как конечная реакция живых организмов на воздействие "омагниченной" воды, хотя достаточно убедительны положительные результаты по повышению урожайности сельскохозяйственных культур и широкому применению магнеотерапии.

Цель работы — экспериментальное доказательство существования скрытых физических механизмов воздействия магнитного поля на водосодержащие среды и, таким образом, реабилитировать магнитное направление в биологии, медицине и технике. Подходы к решению этой сложной задачи удалось найти, исходя из специфических особенностей молекулярного строения воды и разработанного метода трансмиссионно-резонансной КВЧ/СВЧ-радиоспектроскопии [1–3].

Молекулярная структура воды в жидком состоянии представлена на рис 1.

Если в свободном состоянии молекула воды трехатомная (H_2O), где атом кислорода двухвалентен (рис 1,а), то в конденсированной фазе — в жидкости и во льду — кислород четырехвалентный — (рис 1,б) с ненасыщенными акцепторно-донорными связями (ВС — водородная связь, КС — ковалентная связь). В результате формируются сложные пространственные молекулярные конфигурации, состоящие из связанных гексагональных фрагментов (рис 1,в), которые объединяются в льдоподобные кластеры $n(H_2\ddot{O})_6$ — (рис 1,г). Подробнее об этом рассмотрено в работах [1–3], где было показано, что при воздействии на водосодержащие среды потоков электромагнитных ММ волн на резонансных частотах вблизи пар 50,3 и 51,8, 64,5 и 65,5,

различными (r) и попережными (h).
 ных колебаний гексагональных фрагментов воды.
 ные дуги связаны с двумя модами молекуляр-
 зонансно-волнового состояния. Данные резонанс-
 $\pm 0,1$ ПГц, в молекулярной среде возбуждается ре-
 95 и 105 ПГц, определенных с точностью не хуже

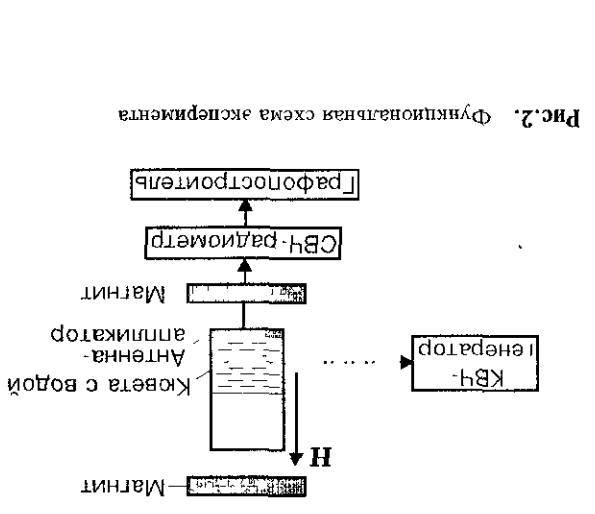
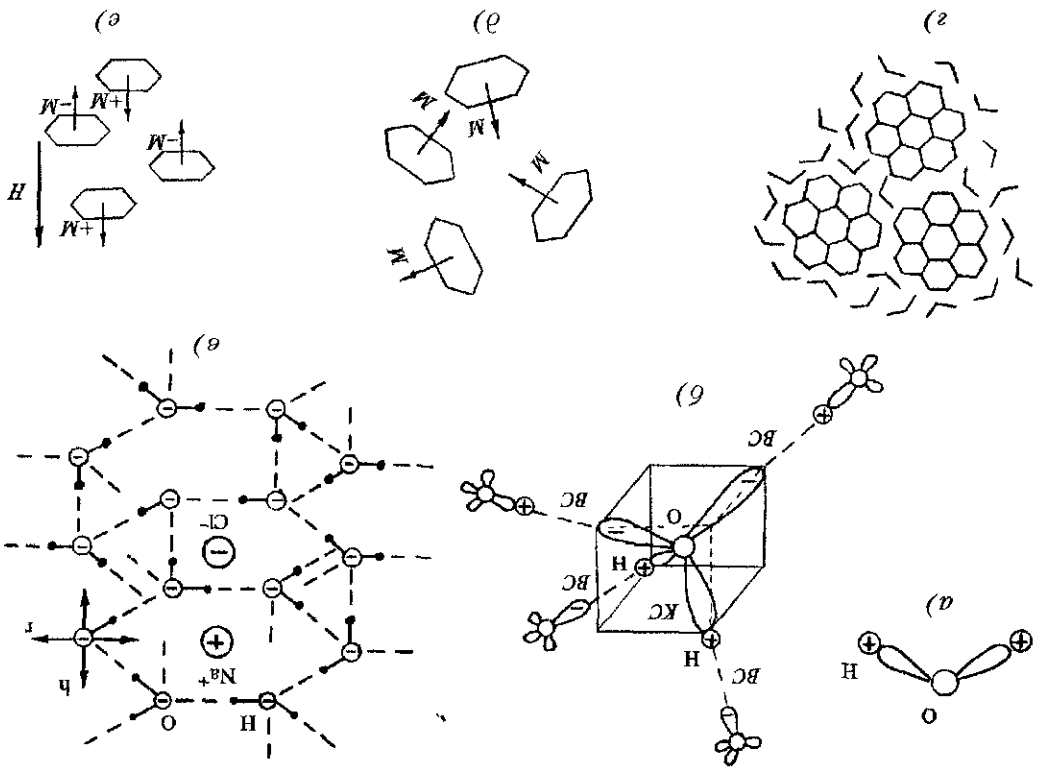


Рис. 2. Функциональная схема эксперимента

Кювета, наполненная дистиллированной водой, и мешалка в продольное магнитное поле напряже-
 ностью $H = 50$ Э и облучалась резонансными ММ-
 волнами мощностью менее 1 мкВт/см² с измене-
 нием частоты в интервале 48..52 ПГц. Волны и
 нейно поляризованы по типу TE_{10} с электрическ-

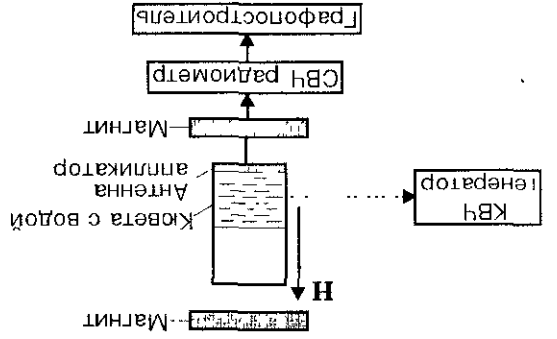
использовалась антенна-ампликатор с кюветой Э
 для исследования этого явления
 ей происходит в среде ММ-излучения на резона-
 вания из ММ- в ДМ-диапазон связан с диссипа-
 резонансной прозрачности. Механизм преобраз-
 диапазоне волн (на частоте 1 ПГц) в виде спектра
 тивительным радиометрическим приемником в ДМ
 действия резистрируется высокочув-
 то излучения в ММ-диапазоне, а радиотоклик об-
 воздействию низкоинтенсивного электромагнит-
 Он заключается в том, что объект подвергается
 ружено методом КВЧ/СВЧ-радиоспектроскопии
 явление резонансной прозрачности было обн-

Рис. 1. Молекулярная структура воды: а) свободные молекулы, б) молекулы в конденсированной фазе; в) гексагональный фрагмент; г) кластеры в жидкой фазе; д) хаотическое расположение гексагональных колец; е) упорядоченное расположение гексагональных колец в магнитном поле



95 и 105 ГГц, определенных с точностью не хуже $\pm 0,1$ ГГц, в молекулярной среде возбуждается резонансно-волновое состояние. Данные резонансные дублеты связаны с двумя модами молекулярных колебаний гексагональных фрагментов воды.

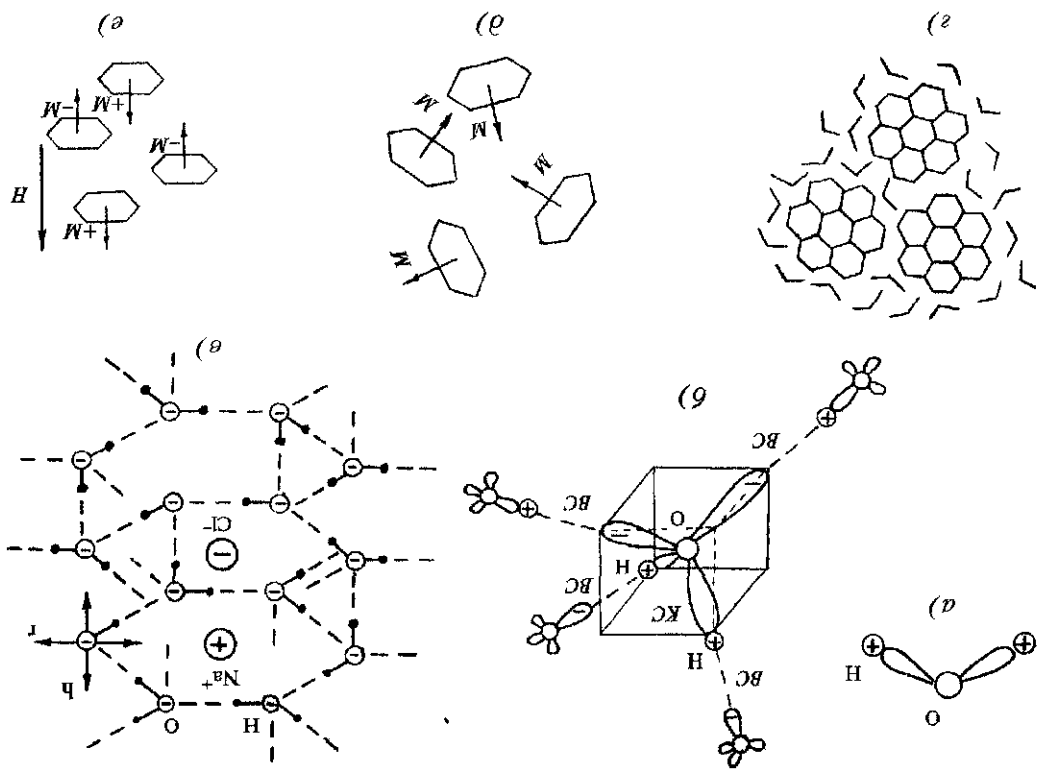
Рис. 2. Функциональная схема эксперимента



Кювета, наполненная дистиллированной водой, помещалась в продольное магнитное поле напряженностью $H = 50$ Э и облучалась резонансными ММ-волнами мощностью менее 1 мкВт/см^2 с изменением частоты в интервале 48...52 ГГц. Волны линии поляризованы по типу TE_{10} с электрической

Явление резонансной прозрачности было обнаружено методом КВЧ/СВЧ-радиоспектроскопии. Он заключается в том, что объект подвергается воздействию низкочастотного электромагнитного излучения в ММ-диапазоне, а радиотокник объекта на воздействие релаксирует высококучевыми радиометрическим приемником в ММ-диапазоне волн (на частоте ГГц) в виде спектров резонансной прозрачности. Механизм преобразования из ММ- в ГМ-диапазон связан с диссипацией энергии происходящего в среде ММ-излучения на резонансных частотах. Для исследования этого явления использовалась антенна-аппликатор с кюветой. Эксперимент ставился по схеме рис 2.

Рис. 1. Молекулярная структура воды. а) свободные молекулы, б) молекулы в конденсированной фазе, в) гексагональный фрагмент, г) кластеры в жидкой фазе; д) хаотическое расположение гексагональных колец, е) упорядоченное расположение гексагональных колец в магнитном поле.





компонентой, перпендикулярной направлению приложенного магнитного поля

Резонансный спектр воды при 25 °С в магнитном поле представлен на рис.3.

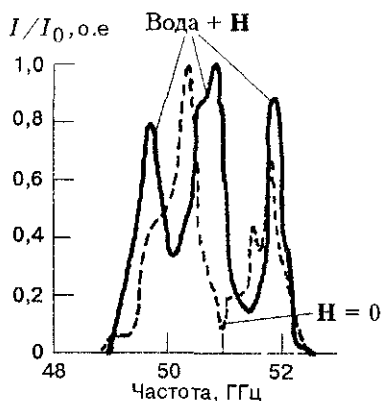


Рис.3. Расщепление резонансного спектра воды в магнитном поле. штриховая линия — спектр воды без магнитного поля при 25 °С

Как видно, влияние магнитного поля на воду сводится к появлению трех пиков: пик на частоте 51.8 ГГц сохраняется, а пик с частотой 50,3 ГГц расщепляется на два с частотами 49,7 и 50,8 ГГц, располагающихся симметрично относительно центральной частоты со смещением $\Delta\nu_{pr} \approx 0,55$ ГГц.

Естественно полагать, что полученный дублет является результатом снятия ориентационного вырождения и расщепления резонансного пика в магнитном поле, т.е. проявлением аналога эффекта Зеемана для воды в ММ-диапазоне электромагнитных волн. Следовательно, хотя вода макроскопически является очень слабым диамагнетиком, на микроуровне она имеет ненулевые магнитные моменты, хаотически ориентированные без магнитного поля. В магнитном поле магнитные моменты \mathbf{M} молекулярных фрагментов, равновероятно ориентируясь вдоль и против направления магнитного поля \mathbf{H} , изменяют колебательную энергию поперечных колебаний на величину

$$\Delta\varepsilon^H = h|\Delta\nu_{pr}| = \mathbf{MH},$$

где $h = 6,610^{-34}$ Дж · с — постоянная Планка.

Отсюда в нашем случае для напряженности магнитного поля $\mathbf{H} = 5 \cdot 10^{-3}$ Тл и расщепления $|\Delta\nu_{pr}| \approx 0,55 \cdot 10^9$ Гц получаем значение магнитного момента $\mathbf{M} \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл. Эта величина, как и следовало ожидать, имеет порядок величины магнетона Бора $\mathbf{M} = \mu_B$ — магнитного момента электрона. Данный результат позволяет сделать вывод, что в процессах магнитного взаимодействия конденсированной фазы воды участвуют магнитные моменты электронов (но не ядер, так как ядерный магнетон на три порядка меньше), а вода переходит в антиферромагнитное состояние. Важно то, что магнетон Бора является мировой константой, связывающей между собой три другие фундаментальные мировые константы: постоянную Планка \hbar , элементарный заряд e , массу покоя электрона m_e

$$\mu_B = \hbar e / 2m_e.$$

Существует ограниченное число методов измерения величин мировых констант. Поэтому появление нового метода представляет ценность для метрологии.

Для объяснения эффекта расщепления резонансного пика в магнитном поле обратимся к структуре воды. Из полученных экспериментальных результатов следует, что гексагональные фрагменты воды обладают элементарными магнитными моментами (\mathbf{M}), ортогональными их плоскостям, которые взаимно скомпенсированы, так что суммарный магнитный момент равен нулю ($\Sigma\mathbf{M} = 0$) и при хаотическом, и при ориентированном расположении магнитных моментов. На рис.1, д, е изображены соответствующие состояния водной среды без поля и в магнитном поле. Магнитное поле, упорядочивая структуру, в то же время снимает ориентационное вырождение антипараллельных магнитных моментов. Поэтому при их ориентации вдоль и против направления магнитного поля энергия только радиальных колебаний (r) гексагональных молекулярных осцилляторов, совершаемых поперек магнитного поля, расщепляется на два подуровня

$$h\nu_{pr} \Rightarrow h\nu_{pr} \pm h|\Delta\nu_{pr}|.$$

Продольные по отношению к полю колебания (h) колец во взаимодействии с магнитным полем



участия не принимают и поэтому их энергия $h\nu_{ph}$ не изменяется

Таким образом, обнаружено расщепление радиальных резонансных частот воды в магнитном поле и определен магнитный момент молекулярных фрагментов воды, равный магнетону Бора, что свидетельствует об электронной природе магнитного взаимодействия. В отличие от эффекта Зеемана, который реализуется на свободных молекулах, обнаруженный эффект проявляется в конденсированной фазе в радиодиапазоне. Можно полагать, что при наложении магнитного поля происходит фазовый переход воды из диамагнитного в антиферромагнитное состояние.

Природа молекулярного взаимодействия воды с магнитным полем, до сих пор не понятая, имеет непосредственное отношение к феномену "омагниченной воды" и магнитотерапии. В связи с этим была поставлена серия экспериментов по исследованию влияния магнитного поля на собственное радиоизлучение воды и биотканей без стимуляции их внешними резонансными ММ-волнами.

В эксперименте использовались СВЧ-радиометр и двухпетлевые линейно поляризованные приемные антенны-аппликаторы. Одна из них встроена в цилиндрический контейнер для воды, а другая свободная. Антенны приводились в контакт с водной средой *in vitro* или с тканями организма человека *in vivo*. Магнитное поле, напряженностью около 100 Э, создавалось постоянными магнитами. Использование линейно поляризованных антенн не случайно. Их поляризационные свойства позволяют выяснить ориентационные зависимости влияния магнитного поля. Поэтому, прежде чем описывать эксперименты, приведем количественные поляризационные характеристики приемных антенн, определяемые симметрией их топологии. Экспериментально показано, что при совпадении направления вектора электрического поля падающего линейно поляризованного резонансного КВЧ-излучения с диаметральной элементом двухпетлевого вибратора антенны, находящейся в контакте с водой, сигнал радиоотклика максимален, а при поперечном минимален в отношении 3:1. В отличие от двух петлевой, трехпетлевая антенна центрально симметрична и не чувствительна к поляризации излучения (рис 4). Отметим, что щелевое СВЧ-радиоизлучение сохраняет поляризацию падающего резонансного КВЧ излучения

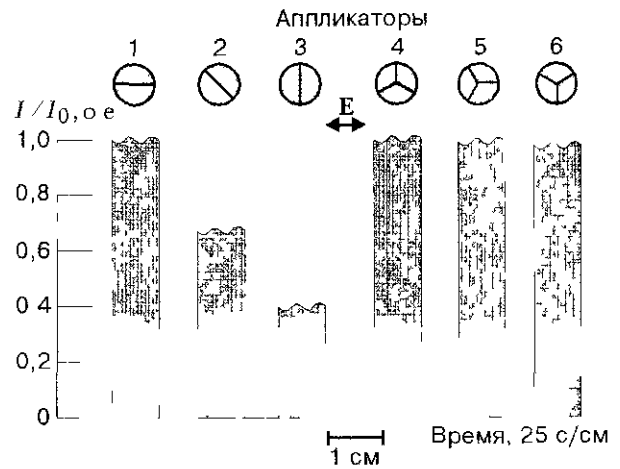


Рис.4. Зависимость радиоотклика воды от ориентации двухпетлевого (позиции 1, 2, 3) и трехпетлевого (позиции 4, 5, 6) аппликаторов относительно вектора E линейно поляризованного КВЧ излучения

Охарактеризуем условия экспериментов Кювета со встроенной антенной заполнялась бидистиллятом воды и на нее накладывалось коаксиальное магнитное поле или антенна-аппликатор, магнитное поле накладывалось на кисть руки. Результаты экспериментов с водой и биотканью представлены кривыми 1, 2 на рис 5, там же на кривой 3 для сравнения интенсивностей показан радиоотклик воды на облучение ММ-волнами мощностью $0,1 \text{ мкВт/см}^2$ на резонансной частоте 50,3 ГГц. Возникновение радиосигналов в обоих случаях свидетельствует о том, что магнитное поле возбуждает в воде и биоткани генерацию СВЧ-радиоволн в ДМ диапазоне на уровне мощности порядка $10^{-14} - 10^{-15} \text{ Вт/см}^2$. Радиоизлучение воды и биоткани (включая ее радиотепловой фон) достигает достаточно большого уровня, сравнимого с уровнем радиоотклика на КВ-воздействии.

Дадим интерпретацию обнаруженному эффекту генерации радиоволн водосодержащими средами. В основе объяснения механизма генерации лежит модель структуры воды. Уже отмечалось, что в конденсированной фазе молекулярная структура воды состоит из гексагональных фрагментов, имеющих магнитные моменты. Было показано [1-3], что гексагональные кольца осциллируют с частотой

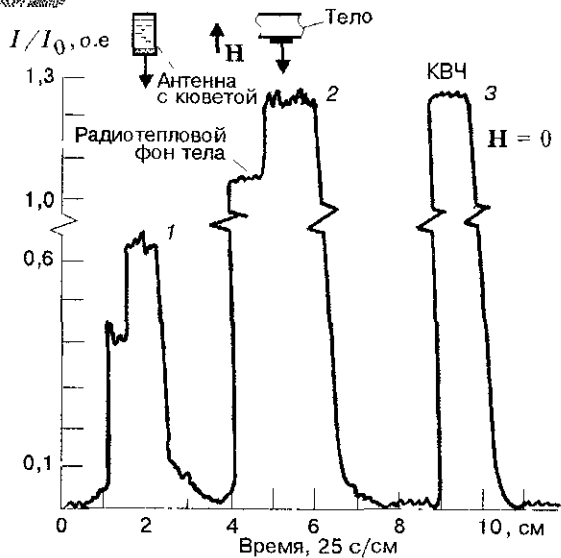


Рис. 5. Радиосигналы собственного излучения 1 – воды в коаксиальном магнитном поле, 2 – биоткани (кисть руки) в поперечном магнитном поле; 3 – сравнительный радиоотклик воды на КВЧ-облучение на резонансной частоте 50,3 ГГц мощностью 0,1 мкВт/см²

той в КВЧ-диапазоне, излучая при этом ММ-радиоволны с переносом в ДМ-диапазон. Хаотическая изотропная ориентация кольцевых фрагментов и десинхронизация колебаний не дают превышения над радиотепловым шумом водной среды. Магнитное поле вызывает ориентационную анизотропию, текстуру, ориентируя молекулярные кольцевые фрагменты воды поперек направления поля так, что на аппликатор проецируется вся плоскость гексагональных фрагментов, и в генерации участвует полная совокупность радиальных колебаний. В результате усиливаются направленные потоки собственных КВЧ-радиоволн в водной среде, сопровождаемые повышением регистрируемого шумового СВЧ-радиоизлучения. Очевидно, что источником КВЧ-излучений в данной ситуации являются именно радиальные колебания молекулярных колец. Таково объяснение возбуждения генерации в магнитном поле КВЧ- и СВЧ-радиоволн водными и биологическими средами.

Дальнейшая детализация в исследованиях свойств магнитостимулированной генерации радиоволн приводит к дополнительной аргумента-

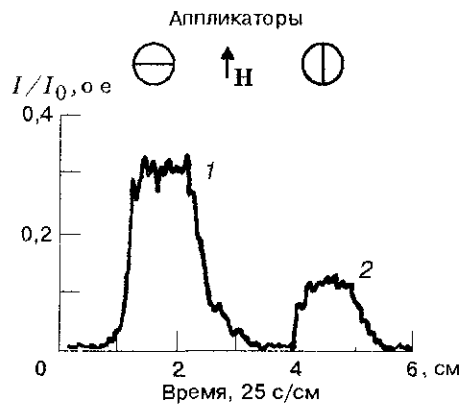


Рис. 6. Радиосигналы собственного излучения воды в поперечном магнитном поле — перпендикулярно (1) и вдоль (2) диаметрального элемента двухпетлевого аппликатора

ции в пользу принятого механизма генерации. Выше было показано, что стимулированное шумовое СВЧ-радиоизлучение сохраняет поляризацию источника ММ-волн. Поэтому, если магнитостимулированное СВЧ-излучение воды будет чувствительно к ориентации магнитного поля, то это указывает на его происхождение от определенного типа КВЧ-колебаний водных структур. На рис. 6 приведены величины собственных СВЧ-радиосигналов воды при двух направлениях поперечной оси антенны-аппликатора магнитного поля. Из рисунка видно, что в поперечном магнитном поле сигналы ниже, чем сигнал в коаксиальном поле (см. рис. 5), и что сигнал в продольном относительно диаметрального элемента аппликатора поле составляет 1/3 от сигнала в перпендикулярном поле. т.е. СВЧ-излучение водной среды чувствительно к ориентации магнитного поля. Это соответствует поляризационным свойствам антенны-аппликатора с отношением сигналов в ортогональных направлениях 1.3 (см. рис. 4) и подтверждает происхождение генерации от радиального типа колебаний. Отличие варианта с поперечным полем от случая с коаксиальным полем состоит в том, что на аппликатор проецируются гексагональные кольца в профиль, и поэтому в генерации участвует только часть радиальных колебаний, чем объясняется уменьшение сигнала.

Отсюда следуют важные выводы: во-первых, *источником генерации радиоволн водными и биологическими средами в магнитном поле, видимо,*



являются собственные колебания молекулярных структур воды в КВЧ-диапазоне, и, во-вторых, основной вклад в генерацию радиоволн вносят радиальные колебания гексагональных молекулярных структур.

Рассмотрим вопрос об “омагниченной” воде. В этой связи были поставлены следующие эксперименты. Пробирки с водой помещались на несколько минут в коаксиальное магнитное поле напряженностью 100 Э. Затем поле снималось и периодически исследовалось собственное излучение “омагниченной” воды сразу и после определенной временной выдержки через одну неделю, месяц, два и более месяцев.

На рис.7 изображены сигналы радиоизлучений “омагниченной” воды. Результаты показывают, что вода после кратковременного магнитного воздействия дает дополнительное радиоизлучение к собственному радиотепловому фону и обладает длительной “магнитной” памятью. В то же время,

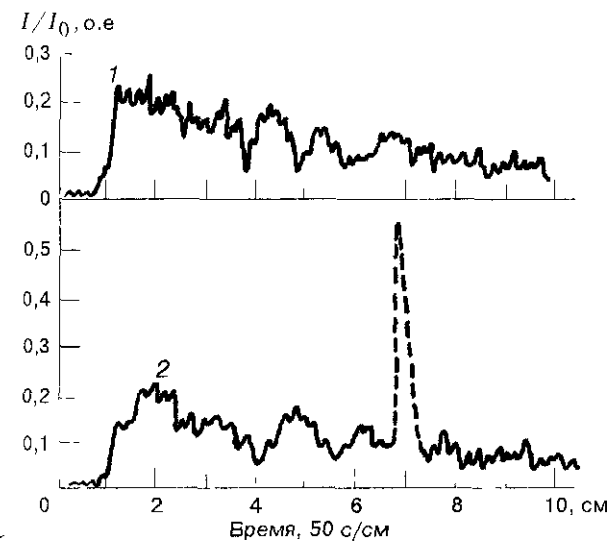


Рис.7. Радиоизлучение “омагниченной” воды: сразу (1), через месяц (2), штриховая линия спонтанный всплеск излучения

в процессе измерений интенсивность генерации спадает в течение достаточно длительного времени релаксации. По нашим представлениям, это определяется скоростью “размагничивания” (разориентации) воды, обусловленной отбором СВЧ-энергии антенной-аппликатором. Это подтверждается тем,

что в конце релаксации наблюдается “магнитное” охлаждение в пределах единиц градусов. Обращает на себя внимание тот факт, что в ряде случаев на уровне фоновой генерации появлялся резкий всплеск радиоизлучения — штриховая линия на кривой 2. Вероятно, он связан со спонтанной самосинхронизацией и дополнительной ориентацией молекулярных осцилляторов воды.

Таким образом, “омагниченная” вода может находиться в антиферромагнитном состоянии довольно долго.

Вполне логично попытаться определить точку Кюри (Нееля) для воды. Эксперимент ставился следующим образом. Пробирка с “омагниченной” водой ступенчато нагревалась и на каждом шагу охлаждалась до исходной комнатной температуры, при которой и регистрировалось собственное радиоизлучение. Такая процедура позволила разделить нарастающее тепловое излучение и слабые добавочные “магнитные” радиосигналы. Точка Кюри определялась по срыву сигнала радиоизлучения. На рис.8 показан температурный ход радиоизлучения “омагниченной” воды.

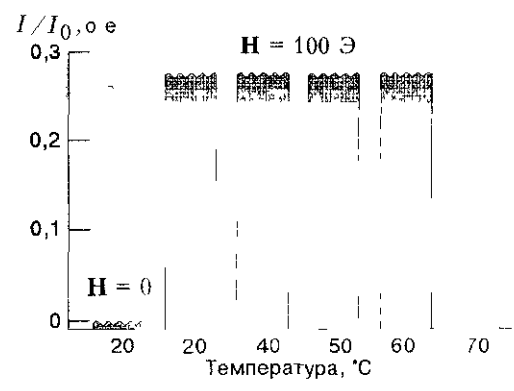


Рис.8. Зависимость магнитосимулированной составляющей радиоотклика воды от температуры

Срыв сигнала наступает при температуре 70 °С. Эту температуру $\theta \approx 70^\circ\text{C}$ и нужно считать точкой Кюри (Нееля) фазового перехода 2-го рода воды из антиферромагнитного состояния в диамагнитное.

Если резонансное состояние “омагниченной” воды реально, то возникает вопрос, каковы длина



резонансной ММ-волны и величина диэлектрической проницаемости (ДП) в резонансном состоянии? Эта задача была решена с использованием метода стоячих волн. Для исследования использовалась двухпетлевая антенна-аппликатор с кюветой.

Пустая кювета с антенной помещалась в поперечное магнитное поле напряженностью 300 Э, перпендикулярное диаметральному элементу антенны (что обеспечивало максимальный сигнал от гексагональных осцилляторов воды), и в нее дозированно подавалась вода, так что толщина слоя воды постепенно увеличивалась. При этом сигнал с антенны непрерывно регистрировался радиометром. На рис.9 приведена интерференционная кривая сигнала с радиометра в зависимости от толщины слоя воды.

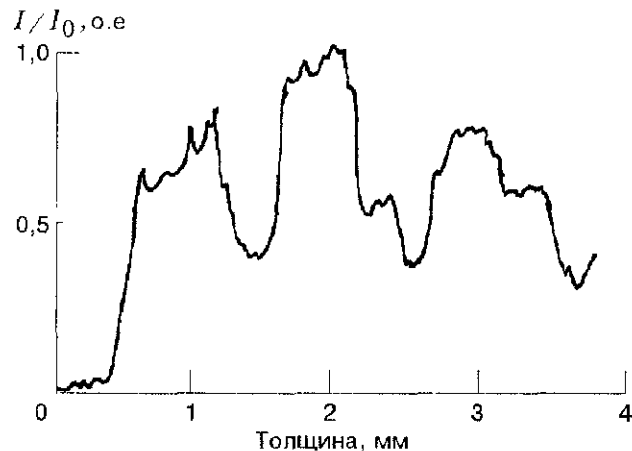


Рис.9. Зависимость приведенного радиоотклика “омагниченной воды” от толщины ее слоя

На графике отчетливо видны максимумы сигнала, располагающиеся эквидистантно с периодом 1 мм. Это соответствует половине резонансной длины волны. Следовательно, *длина волны собственного электромагнитного излучения водной среды, стимулированного магнитным полем, $\lambda = 2$ мм, что ориентировочно должно соответствовать частоте 25 ГГц, хотя на этой частоте без магнитного поля нет радиоотклика при КВЧ-воздействии.*

Необходимо отметить, что иногда появлялась генерация, соответствующая частоте в 50 ГГц. Это

наводит на мысль о возбуждении в магнитном поле целого ряда гармоник. Однако возникает вопрос, какой конкретно частоте собственной генерации воды соответствует длина волны 2 мм? Поэтому был поставлен эксперимент по поиску собственной резонансной частоты воды в магнитном поле. Для этого кювета с водой, помещенная в то же поперечное магнитное поле, облучалась ММ-волнами в диапазоне КВЧ 23...27 ГГц. На рис.10 показан резонансный спектр, подтверждающий *наличие стимулированной магнитным полем генерации водой электромагнитных волн на резонансной частоте вблизи $\nu = 25$ ГГц.*

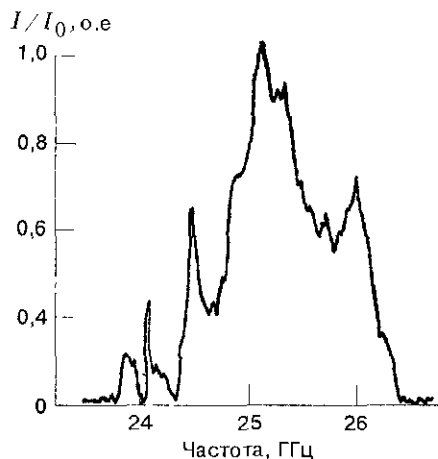


Рис.10. КВЧ/СВЧ-спектр “омагниченной” воды

Примечательно, что *этот резонанс наблюдается только в магнитном поле, а в его отсутствие исчезает.* Обнаруженный резонанс мы склонны рассматривать как *антиферромагнитный резонанс.*

Зная частоту и длину волны, можно найти ДП (ϵ) в условиях резонансного состояния воды. Из простых соотношений получаем $\epsilon = (c_0/\lambda\nu)^2 = 36$, где c_0 — скорость электромагнитных волн в вакууме. Такое же значение ДП воды в резонансном состоянии без магнитного поля на частоте вблизи 50 ГГц было получено ранее [4].

Внесем ясность в понимание употребляемого термина “омагниченная” вода. Воздействие магнитного поля на водную структуру вовсе не означает, что вода намагничивается. Интегральный

магнитный момент воды по-прежнему остается нулевым в связи с антипараллельной ориентацией моментов вдоль поля. Магнитное действие (и об этом неоднократно говорилось выше) сводится к наведению в водной среде или биоткани преимущественной ориентации молекулярных структур и усилению собственных КВЧ-радиоволн. В “омагниченной” воде преимущественная ориентация сохраняется в течение месяцев, и в этом смысле вода обладает длительной и устойчивой “магнитной”, а на самом деле, молекулярно-структурной памятью. Так объясняется сверхслабая генерация резонансных ММ волн водой и биотканью в магнитном поле, сопровождаемая повышением собственного радиоизлучения в ДМ-диапазоне.

Заключение

Таким образом, с использованием метода трансмиссионно-резонансной КВЧ / СВЧ-радиоспектроскопии получены следующие новые результаты:

1 Обнаружен аналог эффекта Зеемана в воде. Найден магнитный момент молекулярных фрагментов воды, равный магнетону Бора $M = \mu_B$, что свидетельствует об электронной природе взаимодействия воды с магнитным полем.

2 Обнаружена сверхслабая генерация резонансных КВЧ-радиоволн водой и тканями организма человека в магнитных полях на частотах вблизи 25 и 50 ГГц. Показано, что вода обладает длительной ориентационно-магнитной памятью. Определена гочка Кюри (Нееля) воды $\theta \approx 70^\circ \text{C}$. Особенности поведения воды в магнитных полях объяснены фазовым переходом 2-го рода из диамагнитного в антиферромагнитное состояние и обратно.

3 Можно считать, что биоактивность “омагниченной” воды и эффективность магнитотерапии основаны на механизмах воздействия собственных резонансных ММ-волн в водных и биологических средах. Это позволяет объяснить особые свойства “омагниченной” воды и биофизику магнитотерапии.

Полученные результаты имеют принципиальное значение в физике воды, радиофизике, биофизике, медицине и сельском хозяйстве.

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

Литература

- 1 Петросян В.И., Гуляев Ю.В., Житенева Э.А. и др. Взаимодействие физических и биологических объектов с электромагнитным излучением КВЧ-диапазона – Радиотехника и электроника, 1995 г. т. 40, вып. 1
- 2 Петросян В.И., Житенева Э.А., Гуляев Ю.В. и др. Физика взаимодействия ММ-волн с объектами различной природы – Биомедицинская радиоэлектроника, 1999, №3 в ж. Радиотехника, 1996, №9
- 3 Синицын Н.И., Петросян В.И., Ёлкин В.А. и др. Особая роль системы “ММ-волны – водная среда” в природе – Биомедицинская радиоэлектроника, 1998, №1
- 4 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