

# ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ЕЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А.П. Бессонова, И.Е. Стась

*Показано, что воздействие на дистиллированную воду высокочастотного электромагнитного поля приводит к уменьшению ее сопротивления, увеличению pH и изменению ИК-спектров поглощения. Высказано предположение о природе наблюдаемых явлений.*

Несмотря на широкий круг исследований воды, вопросы изменения ее свойств и структуры под влиянием внешних воздействий остаются предметом многочисленных теоретических и экспериментальных работ. Под понятием структуры воды понимается пространственная организация компонентов, составляющих системы, где компоненты – отдельные элементы структуры, характеризующиеся экспериментально определяемыми физико-химическими свойствами. Несмотря на существование различных моделей воды, их объединяющей основой является утверждение о наличии в ее структуре как отдельных (независимых) молекул, так и объединенных различными связями, образующих динамически развивающиеся кинетические образования. Такое положение обуславливает наличие множества переменных состояний воды, а, следовательно, и проявление разнообразных свойств, в том числе и аномальных. В то же время можно утверждать, что особенности структурного строения воды и ее метастабильность позволяют последней значимо откликаться на внешнее воздействие любой природы. Другими словами, вода может находиться в активированном состоянии, что подтверждается многочисленными работами [1-4].

Экспериментально установлено, что реакционная способность воды и водных растворов может существенно изменяться после воздействия на них различных факторов (температуры, ультразвука, переменного и постоянного магнитного поля, электромагнитных волн, инфразвука, акустических волн и т.д.), причем воздействия, приводящие к активации, могут быть чрезвычайно слабыми. К настоящему времени накопилось достаточно много экспериментальных данных, убедительно доказывающих эффективность применения магнитного поля при осуществлении различных физико-химических процессов. Зафиксированы изменения структурных, оптических, кинетических, магнитных и других физико-химических свойств исследуемых

систем [5-9]. Молекулы воды, их ассоциаты, гидратированные ионы совершают беспорядочные колебательные движения, которым соответствует определенный колебательный уровень. При воздействии на эту систему полем оптимальной частоты возможен резонанс с определенной группой молекул и ассоциатов с возникновением квантов энергии, способных деформировать связи, изменять структурную характеристику системы. Одним из наиболее информативных и простых в техническом исполнении методов обнаружения изменения структурных свойств воды являются ИК- и УФ-спектроскопические методы исследования. В [10] показано, что обработка магнитным полем (0,3 Тл) проточной высокоомной воды приводит к ее более плотной структурной упаковке. Предполагается, что образование ассоциатов воды, упорядочение объемной трехмерной сетки водородных связей происходит за счет преимущественного образования сильных водородных связей.

Целью нашей работы явилось изучение влияния высокочастотного электромагнитного (ВЧЭМ) поля на сопротивление, pH воды и ее спектральные характеристики.

В работе использовалась дистиллированная вода ( $R = 2,8 \div 3,0$  (105 Ом)). Вода хранилась в герметически закрытых полиэтиленовых бутылках. Измерение сопротивления проводили на кондуктометре ОК-102/1. Электроды были изготовлены из гладкой платины. pH воды измеряли с помощью универсального иономера ЭВ-74. В работе использовали стеклянный электрод марки ЭСЛ-63-07 и хлорсеребряный электрод в качестве электрода сравнения. Источником ВЧЭМ поля служил генератор ГЗ-19А, выходная мощность которого составляла 1 Вт, рабочий диапазон частот – 30-200 МГц. Ячейка, в которой исследуемая вода подвергалась электромагнитному воздействию, состояла из тефлонового стаканчика объемом 20 мл, в центре которого располагался внутренний ВЧ электрод, представляющий собой латунный стержень, изолированный тефлоном. Внеш-

ним ВЧ электродом служил алюминиевый стаканчик, плотно прилежавший к поверхности тефлона. Измерение спектральных характеристик ИК-поглощения воды осуществлялось с использованием спектрометра Specord IR-75 на стеклах CaF<sub>2</sub>, применяемых для анализа водных растворов, в интервале 400...4000 см<sup>-1</sup>.

В данной работе приведены результаты изменения указанных свойств, когда на порцию воды воздействовали полем только одной фиксированной частоты в течение 2–4 часов. Было установлено, что при воздействии ВЧЭМ происходит снижение электрического сопротивления и увеличение pH воды. Зависимость электрического сопротивления и pH от частоты поля носит полиэкстремальный характер. Максимальное снижение сопротивления и увеличение pH воды наблюдается при частотах 150 и 170 МГц. При этих частотах электрическое сопротивление уменьшается в 7,5 – 10,0 раз. Зависимость pH от частоты ВЧЭМ поля аналогична зависимости сопротивления от частоты. Максимальное изменение pH наблюдается при частотах 150, 160 и 170 МГц и составляет 1,12 – 1,20 единицы pH. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение сопротивления и pH дистиллированной воды при воздействии ВЧЭМ поля

f, МГц	R·10 <sup>5</sup> , Ом	pH	R <sub>отн.</sub> = R <sub>0</sub> /R <sub>f</sub>	Δ pH
0	3,0	6,50	-	-
30	1,6	6,80	1,9	0,30
40	1,5	7,00	2,0	0,50
50	1,5	6,85	2,0	0,35
60	1,4	6,76	2,1	0,26
70	1,3	6,89	2,3	0,39
80	1,3	6,80	2,3	0,30
90	1,2	6,80	2,5	0,30
100	0,9	6,79	3,3	0,29
110	0,8	6,75	3,8	0,25
120	1,0	6,60	3,0	0,10
130	1,0	6,60	3,0	0,10
140	0,7	6,80	4,3	0,30
150	0,4	7,62	7,5	1,12
160	0,5	7,65	6,0	1,15
165	0,8	7,10	3,8	0,60
170	0,3	7,70	10,0	1,20
175	0,7	7,20	4,3	0,70
180	0,8	7,40	3,8	0,90
190	2,5	6,60	1,2	0,10
200	0,7	6,80	4,3	0,30

Кинетические кривые изменения электропроводности и pH дистиллированной воды при воздействии электромагнитного поля фиксированной частоты изображены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Можно предположить, что изменение свойств воды при внешнем воздействии объясняется структурной перестройкой воды. Закономерно возникает вопрос, достаточно ли энергии электромагнитного поля для осуществления структурных перестроек воды. При частоте поля 100 МГц энергия кванта равна  $h\nu = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8 = 6,62 \cdot 10^{-26}$  Дж ( $4,1 \cdot 10^{-7}$  эВ), или в расчете на 1 моль приблизительно 0,04 Дж, что значительно меньше энергии теплового движения  $kT = 4,1 \cdot 10^{-21}$  Дж ( $2,2 \cdot 10^{-2}$  эВ) или 2,4 кДж/моль при T = 298 К. Для того, чтобы в заметной степени преодолеть тепловое разрушение, необходимо накопить энергию, сопоставимую с kT. Поскольку заметное изменение сопротивления и pH происходит не мгновенно, а требует значительного времени – время выхода на стационарный режим составляет не менее двух часов (7200 с), то можно подсчитать, что за это время энергия ВЧЭМ поля, поступающая в систему, составит величину порядка  $7200 \cdot 0,04 / 10^{-8} \sim 3 \cdot 10^{10}$  Дж/моль. Если предположить, что система поглощает хотя бы 0,001% поступающей энергии, то за указанное время эта величина составит  $3 \cdot 10^5$  Дж/моль или 300 кДж/моль, т.е. она значительно превосходит энергию теплового движения. Поглощаемая энергия идет на изменение энергии водородных связей и упрочнение структуры воды.

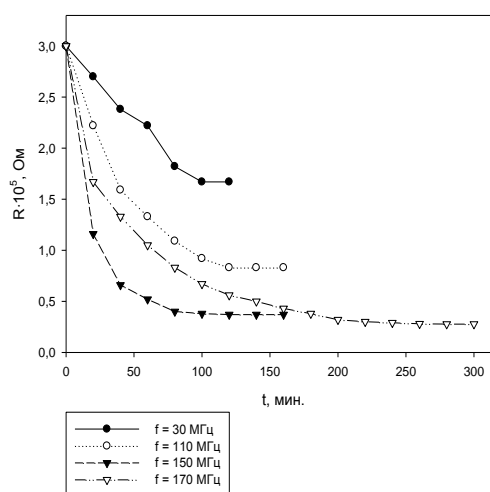


Рисунок 1. Кинетические кривые изменения сопротивления дистиллированной воды при воздействии электромагнитного поля частотой 30, 110, 150, 170 МГц

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ЕЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для подтверждения высказанной гипотезы был проведен ИК-спектральный анализ образцов воды, т.к. структурные изменения воды проявляются в спектральных характеристиках поглощения ИК-излучения и упорядоченность структуры воды может быть оценена по полуширине полос поглощения. Изменение ИК – спектров поглощения в условиях внешних полей фиксировалось авторами [11], в том числе, и в ультрафиолетовой области [12]. На рисунке 3 приведен ИК-спектр, полученный для дистиллированной воды до и после воздействия ВЧЭМ полем ( $f = 170$  МГц).

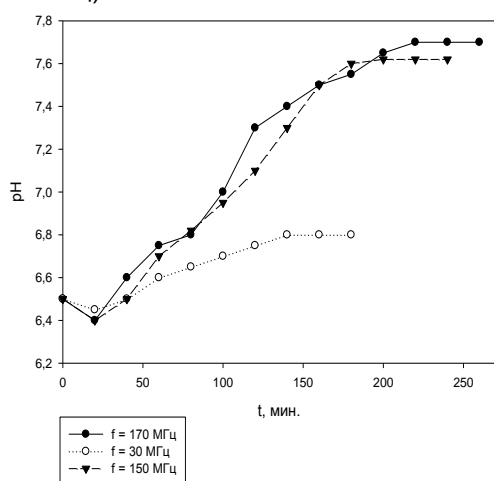


Рисунок 2. Кинетические кривые изменения рН дистиллированной воды при воздействии электромагнитного поля частотой 30, 150, 170 МГц

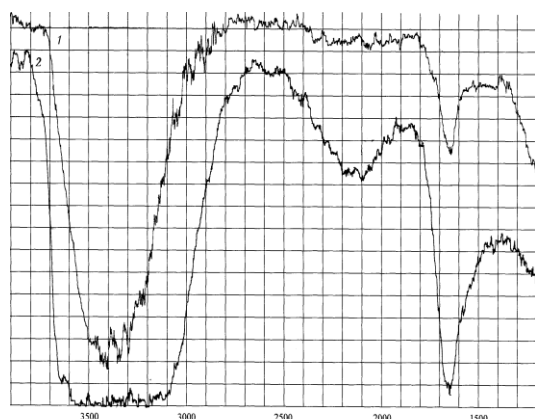


Рисунок 3. ИК-спектр дистиллированной воды: 1 – после облучения ( $f = 170$  МГц), 2 – до облучения ВЧЭМ полем

Спектр ИК – поглощения воды представлен основными полосами валентных колебаний ( $\sim 3000 - 3600$   $\text{см}^{-1}$ ), обусловленных изменениями длин связей в молекуле воды, деформационных колебаний (узкая полоса

вблизи  $\sim 1650$   $\text{см}^{-1}$ , соответствующая изменениям углов валентных связей) и суммой деформационных и либрационных колебаний молекул воды ( $\sim 2130 - 2150$   $\text{см}^{-1}$ ). Полученные спектры воды в диапазоне  $400 - 4000$   $\text{см}^{-1}$  соответствуют спектрам, приведенным в литературе [13]. Отнесение полос в спектре жидкой воды приведено в таблице 2.

Экспериментальные данные, представленные в таблице 3, показывают, что спектральные характеристики различны для дистиллированной воды и для воды подвергнутой ВЧ воздействию при различных частотах.

Таблица 2  
Частоты полос поглощения в ИК-спектре воды и их отнесение

Частота, $\text{см}^{-1}$	Тип колебания
3000-3600	Валентные колебания ОН-групп, участвующих в водородной связи ( $\nu$ )
2130-2150	Деформационные колебания молекул воды + либрационные колебания молекул воды (сумма) ( $\delta + \nu_L$ )
1650	Деформационные колебания ( $\delta$ )
$\sim 700$	Либрационные колебания ( $\nu_L$ )

Воздействие поля приводит к изменению интенсивности полос, их сужению, сдвигу полосы деформационных колебаний на  $10$   $\text{см}^{-1}$  и исчезновению полосы в области  $2130 - 2150$   $\text{см}^{-1}$ . Интенсивность ( $I$ ), полуширина полос поглощения ( $0,5V$ ) и коэффициенты деформации ( $D$ ) зависят от частоты налагаемого поля. Максимальное изменение спектральных характеристик регистрируется для порции воды, прошедшей электромагнитную обработку полем частотой  $170$  МГц, что соответствует максимальному изменению электрического сопротивления и рН воды. К настоящему времени общей теории изменения ширины полос поглощения не существует. В работе [14] предполагается, что на ширину полосы поглощения оказывает влияние структура и степень ассоциированности водной среды, которая, в свою очередь, определяет плотность упаковки (энергию связи) воды в ассоциате и его геометрические параметры. По мнению авторов [13], при воздействии на воду электрических полей смещение полосы поглощения в ИК-спектрах в сторону понижения, вызвано упрочнением межмолекулярных водородных связей.

Таблица 3  
Спектральные характеристики воды

f, МГц	$\nu$ , см <sup>-1</sup>	I, мм	0,5 V, мм	D
f=0	3400	118	57	2,07
	1650	66	13	5,08
	2130	25	21	1,19
f=30	3400	112	36	3,11
	1640	36	6	6,00
	2130	-	-	-
f=150	3400	94	34	2,76
	1640	25	5	5,00
	2130	-	-	-
f=165	3400	116	41	2,83
	1650	55	6	4,58
	2130	-	-	-
f=170	3400	118	37	3,19
	1640	32	6	5,33
	2130	-	-	-
f=175	3400	114	36	3,17
	1650	31	6	5,17
	2130	-	-	-

На основании экспериментальных данных по положениям максимумов полос поглощения воды и их полуширинам, представленным в таблице 3, получены коэффициенты деформации спектра, равные отношению интенсивности линии в максимуме поглощения к ее полуширине. Определение коэффициента деформации осуществлялось следующим образом: сначала проводились линии оснований полос поглощения, которые потом делились пополам и находили средние точки оснований; далее эти точки соединяли с точками максимума полос поглощения. Отрезки от середины до максимума полосы соответствовали интенсивностям полос поглощения, а отрезки, проведенные до пересечения с боковыми линиями на уровне середины высоты (интенсивности) - полуширинам линий. Полуширина линии определяет динамический диапазон прочностей водородных связей внутри ассоциата и между ними. Однако, учитывая малый, уменьшающийся с ростом температуры вклад связей между ассоциатами, их влиянием на прочность связей внутри ассоциата можно пренебречь. Из общих представлений дисперсионных сил следует, что чем однороднее диэлектрические характеристики вещества по объему среды, тем сильнее их взаимодействие. Соответственно увеличивается степень делокализации заряда на ОН-связи (от водорода к кислороду) и уменьшается полуширина линии ИК-поглощения. Поэтому сужение полос следует рассматривать как процесс возрастания степени структурированности воды в ассоциа-

тах. Таким образом, параметры спектров ИК-поглощения воды отражают некоторые закономерности структурной перестройки каркаса водородных связей свободной воды, сопровождаемой делокализацией электронных возбуждений и переносом заряда по координатной сетке.

По данным таблицы 3 проведено сопоставление коэффициентов деформации полос валентных, деформационных колебаний для всех изученных проб воды, которое позволяет проследить их изменение в зависимости от внешних факторов. Значение коэффициентов деформации увеличивается для образцов воды, подвергнутых электромагнитному воздействию. Чем выше значения коэффициентов деформации, тем вода более структурирована. Из полученных величин полуширины спектральных линий, значений коэффициентов деформации и смещения полосы поглощения следует, что наибольшей упорядоченностью структуры, обладает вода, прошедшая электромагнитную обработку. И одна из главных причин изменения свойств воды после воздействия – это изменение ее структуры.

Вследствие высокой полярности молекул воды и их чрезвычайной подвижности между различными её состояниями, жидкая и парообразная вода является источником сверхслабого, а иногда слабого электромагнитного излучения, переменного по интенсивности, направлению и частоте. В качестве осциллятора излучения воды выступает движение её молекул между возможными состояниями: одиночные молекулы, случайные ассоциаты и кластеры. Наименее хаотичное электромагнитное излучение создает "структурированная" вода. Наличие электромагнитного излучения у воды приводит к индуцированию соответствующего электромагнитного поля в окружающих слоях жидкой и парообразной воды, следствием чего является возникновение и рост водных кластеров, аналогичными источнику индукции. Именно это явление лежит в основе структурирования воды при контакте с электромагнитным полем. Образование в воде свободных ионов H<sup>+</sup> или OH<sup>-</sup> из-за возникновения соответствующих кластеров объясняет резкие изменения электрического сопротивления и pH воды под воздействием поля [15].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия. – 1973. – 239 с.
2. Плеханов Г.Ф. Три уровня механизмов биологического действия низкочастотных электромагнитных полей // Материалы Всесоюз. симп. – Томск. – 1984. – С. 3-8.

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ЕЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3. Гапочка Л.Д., Гапочка М.Д., Королев А.Ф. и др. Воздействие электромагнитного излучения КВЧ - и СВЧ - диапазонов на жидкую воду // Вестник МГУ. – Сер. - Физ. астрон. – 1994. – Т. 35, № 4. – С. 71 – 76.
4. Персидская А.Ю., Кузеев И.Р., Антипина В.А. О влиянии импульсного магнитного поля на механические свойства полимерных волокон // Ж. хим. физики. – 2002. – № 2. – С. 90.
5. Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия. – 1982. – 128 с.
6. Железцов А.В. Магнитные явления в растворах // Электронная обработка материалов. – 1976. - № 4. – С. 25 – 31.
7. Киргинцев А.Н., Соколов В.М., Ханаев В.И. К вопросу о влиянии магнитного поля на физико-химические свойства растворов // ЖФХ. – 1968. – Т. 48. – С. 301 – 303.
8. Миненко В.И., Петров В.И. О физико-химических основах магнитной обработки воды // Теплоэнергетика. – 1962. – Т. 9. – С. 63.
9. Бондаренко Н.Ф., Рохинсон Э.Е., Кудряшов В.А., Гак Е.З. Кристаллографический метод диагностики магнитогидродинамической активации водных растворов. // Докл. Рос. акад. с.-х. наук. – 1998. – № 5. – 47 – 48.
10. Караваева А.П., Маршаков И.К., Жидконожкина А.А. Некоторые свойства омагниченной глубокообессоленной воды // Теория и практика сорбционных процессов. – Воронеж. – 1976. – Вып. 11. – С. 78 – 83.
11. Карякин А.В., Кривецова Г.А., Соболева Н.В. Структурные исследования воды по инфракрасным спектрам поглощения // Докл. АН СССР. – 1975. – Т. 221, № 5. – С. 1096 – 1099.
12. Мартынюк В.С. К вопросу о синхронизирующем действии магнитных полей инфранизких частот на биологические объекты // Биофизика. – 1992. – Т. 37, вып. 4. – С. 669 – 673.
13. Вода - космическое явление / под ред. Ю.А. Рахманина, В.К. Кондратова – М.: РАЕН, 2002. – 427 с.
14. Юхневич Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды. М.Наука. – 1973. – С. 140 – 145.
15. Зенин С.В., Тяглов Б.В. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды // ЖФХ. – 1994. – Т. 68, № 4. – С. 636 – 641.

## КИНЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАДИКАЛА ДФПГ С ЭКСТРАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ РАСТЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

В.А. Волков, П.М. Пахомов

*В настоящем исследовании разработан метод анализа кинетики взаимодействия суммы антирадикальных компонентов экстрактов растений со стабильным радикалом ДФПГ. Определены эквивалентные концентрации антирадикальных антиоксидантов и их эффективные кинетические параметры в различных реакционных средах для экстрактов зверобоя продырявленного, пижмы обыкновенной и тысячелистника обыкновенного. Эффективные константы скорости экстрактивных веществ в среде этанола всех изученных объектов по порядку величин соответствуют эквивалентным константам скорости реакций флавоноидов и оксикоричных кислот с ДФПГ. Проведение реакций в среде 0.1 мМ раствора HCl в этаноле, а также 1,4-диоксана позволяет изучать кинетику процесса, начиная с малых глубин превращения веществ и делает результаты более сопоставимыми с данными по взаимодействию антиоксидантов с радикалами при торможении цепного перекисного окисления в липидной фазе.*

### ВВЕДЕНИЕ

Стабильный хромоген-радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (ДФПГ) широко используется для исследования суммарной концентрации антирадикальных антиоксидантов (АО) в различных объектах [1-3], в частности, в экстрактах лекарственных растений. Ценную информацию могли бы также дать сравнительные исследования кинетики взаимодействия суммы антиоксидантов различ-

ных лекарственных растений с радикалом ДФПГ. Ранее такие попытки были предприняты в работах [4-6]. Однако кинетический параметр (отношение глубины превращения радикала за первые пять минут реакции к глубине превращения радикала по окончании реакции), предложенный в [4], является некорректным, поскольку быстрая фаза процесса в большинстве случаев длится менее пяти минут. В работе [5] в качестве кинетического параметра было выбрано время достижения