

УДК 537.868; 53.097; 532.74

UDC 537.868; 53.097; 532.74

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА
СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВОДЫ**

**INVESTIGATION OF AN ELECTROMAGNETIC
FIELDS INFLUENCE ON PROPERTIES AND A
STRUCTURE OF WATER**

Хан Валерий Алексеевич
д.т.н.
*Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск,
Россия*

Khan Valery Alekseevich
Dr.Sci.Tech., professor
Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

Власов Виктор Алексеевич
д.ф.-м.н., профессор

Vlasov Viktor Alekseevich
Dr.Sci.Phys.-Math., professor

Мышкин Вячеслав Федорович
д.ф.-м.н., доцент

Mishkin Viacheslav Fedorovich
Dr.Sci.Phys.-Math., associate professor

Ижойкин Дмитрий Александрович
инженер

Izhoykin Dmitry Aleksandrovich
engineer

Рахимжанова Лаура Аскарровна
аспирантка
*Томский национальный исследовательский
политехнический университет, Томск, Россия*

Rakhimzhanova Laura Askarovna
postgraduate student
*National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia*

Проведен обзор научных публикаций, в которых
приведены данные по влиянию высокочастотного
электромагнитного поля на электропроводность,
кислотность и константу реакции водных
растворов различных соединений. Показано, что
влияние ВЧ электромагнитного поля уменьшается
с увеличением концентрации примеси

The scientific publications review about a high-
frequency electromagnetic field influence on the
conductivity, the acidity and the reaction constant of
different compounds of water solutions was made. It
is shown, that a high-frequency electromagnetic
field influence decreases with the impurity
concentration growth

Ключевые слова: ВОДА, КОНЦЕНТРАЦИЯ
ПРИМЕСИ, ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ,
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ, КИСЛОТНОСТЬ

Keywords: WATER, IMPURITY
CONCENTRATION, HIGH-FREQUENCY
ELECTROMAGNETIC FIELD,
ELECTROCONDUCTIVITY, ACIDITY

Известно, что в воде часть молекул связана водородными связями. Водородные связи распределены неравномерно по объему. Области с повышенным содержанием водородных связей можно считать кластерами. По модели воды Бьерума структурным элементом воды является тетраэдр из четырёх молекул, связанных друг с другом водородными связями [1].

Различные нестационарные процессы могут приводить к образованию кластеров в воде. Электромагнитное (ЭМ) поле может изменять движение зарядов, опосредованно действуя на водородные связи в кластерах. Отмечается пороговый характер воздействия - изменения параметров воды

регистрируются только при накоплении изменений.

Эволюция водных кластеров характеризуется временами 12 мин, 110 мин, 24 ч и несколько суток, после чего разбавленный водный раствор становится нечувствительным к слабым полевым воздействиям [2].

Вода способна длительно сохранять свой первичный химический тип, структурные особенности и физические свойства. Рассмотрено существование в воде молекулярных структур различного рода в зависимости от степени диссоциации. Показано явление сохранения водой физической структуры и свойств после воздействий различного характера [3]

В настоящее время выполнены многочисленные теоретические исследования кластеров воды, использующие полуэмпирические расчеты, а также экспериментальные исследования различными методами. При действии слабоинтенсивных медленно меняющихся ЭМ полей на воду возможно только изменение структуры кластеров [4].

Реакционная способность воды и водных растворов значительно изменяется после воздействия различными факторами. Величина таких воздействий может быть достаточно малой.

ЭМ воздействие может вызывать деформацию водородных связей, в том числе изменение длины О-Н или углов Н-О-Н. При таких изменениях дипольный момент растет, что приводит к уширению и сдвигу в низкочастотную область полос поглощения в колебательных спектрах воды. Межмолекулярные связи малоустойчивы и сравнительно легко разрушаются.

Молекулы воды, их ассоциаты, гидратированные ионы совершают непрерывные колебательные движения, которым соответствует определенная энергия колебательного движения. При воздействии на эту систему переменным полем возможен резонанс с определенной группой молекул и ассоциатов с поглощением квантов энергии, способных

деформировать связи, изменять структурную характеристику системы. Информативными и простыми в техническом исполнении методов обнаружения изменения структурных свойств воды являются инфракрасная (ИК) и ультрафиолетовая (УФ) спектроскопические методы исследования.

Для изучения изменений структуры воды в высокочастотном (ВЧ) поле был проведен анализ ИК-спектров. Упорядоченность структуры воды может быть оценена по полуширине полос поглощения. ИК-спектр поглощения воды представлен полосами валентных колебаний ($\sim 3000-3600 \text{ см}^{-1}$), обусловленных изменениями длин связей в молекуле, деформационных колебаний (полоса $\sim 1650 \text{ см}^{-1}$, связанная изменениям углов валентных связей), суммой деформационных и либрационных колебаний ($\sim 2130-2150 \text{ см}^{-1}$), либрационных колебаний ($\sim 700 \text{ см}^{-1}$).

Измерение ИК-спектров поглощения воды проводили на спектрометре Spesord IR-75 в интервале $400-4000 \text{ см}^{-1}$. На рисунке 1 приведен ИК-спектр дистиллята до и после воздействия ВЧ ЭМ полем ($f = 170 \text{ МГц}$) [5].

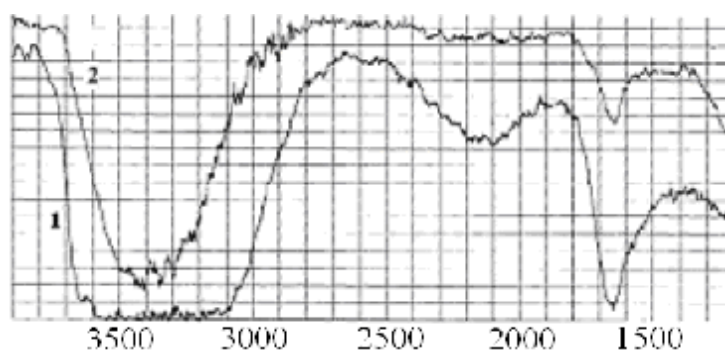


Рис. 1. ИК-спектр дистиллята. 1- до облучения, 2 – после облучения [5].

Воздействие ВЧ ЭМ поля приводит к изменению спектра: сдвигу полосы деформационных колебаний на 10 см^{-1} и исчезновению полосы в области $2130-2150 \text{ см}^{-1}$. Интенсивность, полуширина и форма полос поглощения зависят от частоты ВЧ поля. Максимальное изменение спектральных характеристик регистрируется в воде, прошедшей обработку

ЭМ полем частотой 170 МГц. При этом наблюдается максимальное изменение электрического сопротивления и рН воды. Предполагается, что на ширину полосы поглощения оказывает влияние структура и степень ассоциированности молекул воды, которая, в свою очередь, определяет плотность упаковки (энергию связи) воды в ассоциате и его размеры [6].

На рисунке 2 приведены графики изменения проводимости, кислотности при воздействии на воду ВЧ полем одной частоты в течение 2-4 часов [6].

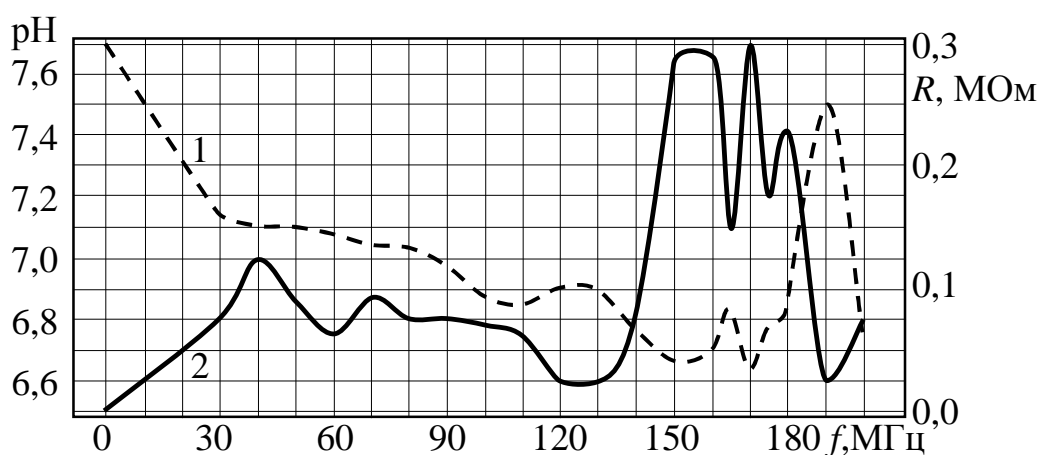


Рис. 2. Сопротивление (1), рН (2) дистиллята в ВЧ ЭМ поле [6].

Использовалась дистиллированная вода ($R = 0,28 \div 0,30$ МОм), которая хранилась в герметически закрытых полиэтиленовых бутылках. Измерение сопротивления проводили на кондуктометре ОК-102/1 с электродом из гладкой платины. Кислотность воды измеряли с помощью иономера ЭВ-74 со стеклянным электродом ЭСЛ-63-07 и хлорсеребряным электродом в качестве опорного. Источником ВЧ ЭМ поля служил генератор ГЗ-19А. Исследуемая вода наливалась в тефлоновый стакан объемом 20 мл, в центре которого располагался внутренний ВЧ электрод в виде латунного стержня, изолированного тефлоном. Внешним ВЧ электродом служил алюминиевый стакан, плотно прилежавший к поверхности тефлона [6].

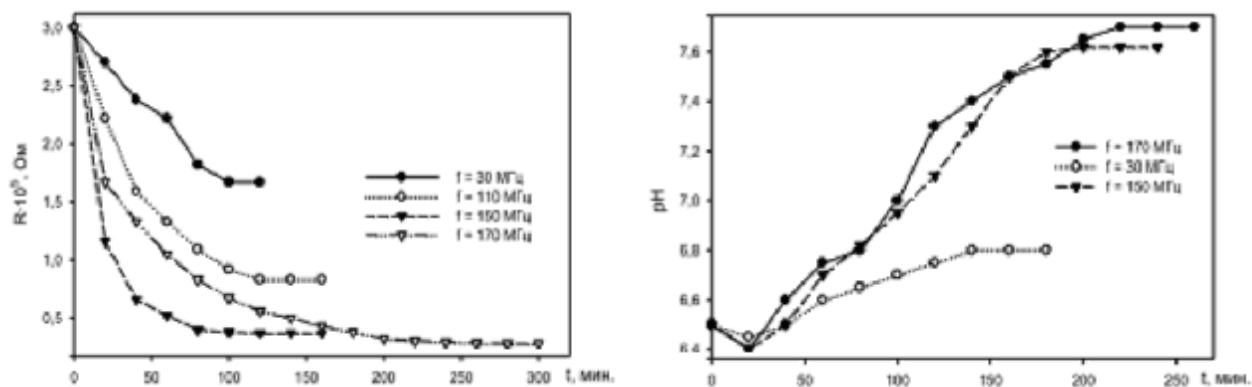


Рис. 3. Кинетические кривые изменения сопротивления и рН дистиллята при воздействии ЭМ поля [6].

Кинетические кривые изменения электропроводности и рН дистиллята при воздействии ЭМ поля фиксированной частоты изображены на рисунке 3.

С уменьшением примесей в воде увеличивается диапазон температур существования “льдообразной” и “кварцеподобной” структуры воды. Например, в воде с удельной электропроводностью $(2-3) \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ в температурном интервале $0-100^\circ\text{C}$ наблюдается лишь один скачок частоты ν_{max} при $T = 35^\circ\text{C}$. Следовательно, при $0^\circ\text{C} < T < 35^\circ\text{C}$ наблюдается “льдообразная” структура сетки, при $T > 35^\circ\text{C}$ – “кварцеподобная”. Состояние воды с разрушенными водородными связями в такой воде не достигается даже при многочасовом кипячении [7].

Экспериментально установлены резонансные частоты воды для электрической составляющей ЭМ излучения: 32,5 и 65 ГГц. Предположено, что на частотах 130, 195 и 260 ГГц, совпадающих с частотами ее собственных молекулярных колебаний, вода также имеет резонанс [8].

Особенностью водных структур является наличие дипольного момента. Резонансные частоты 50-52 ГГц соответствуют колебаниям гексагональных кластеров, 65 ГГц – колебаниям свободных молекул. Резонансные частоты колебаний 1 ГГц соответствуют колебаниям

фрактальных кластеров, размеры которых достигают 170 нм. Образование таких структур обусловлено водородными связями, а для свободных молекул водородные связи могут заменяться более нестабильными силами диполь-дипольного взаимодействия, обуславливающими текучесть воды [9].

Показано, что низкочастотное ЭМ поле (3,4 кГц) увеличивает проводимость воды за 2,5 часа в 2-3 раза. Для ВЧ поля (50-200 МГц) величина проводимости увеличивается в 2-6 раз за 2-5 часов [10]. Отмечается уменьшение pH. Это связывают с изменением структуры воды [11].

Сильное магнитное поле способно деформировать линейные размеры молекул, растягивая молекулы воды и превращая их в ионы с разрывом или деформацией водородных связей. Экспериментально изучалось воздействие ЭМ поля на диэлектрическую проницаемость и диэлектрические потери. Воду прокачивали со скоростью 100 л/ч через область ЭМ поля с частотой 300 Гц. Для определения диэлектрической проницаемости измеряли резонансную частоту контура f_1 без образца и f_2 с измерительной ячейкой. Исследуемый образец помещался в измерительную ячейку, включенную параллельно конденсатору переменной емкости. Определяли резонансную частоту f_3 . Диэлектрическая проницаемость воды в ЭМ поле [12]

$$\epsilon_{\text{воды}} = \frac{dc_2}{\epsilon_0 S} = \frac{d}{\epsilon_0 S} c_0 \left(\frac{f_2^2 - f_3^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) \frac{f_1^2}{f_3^2},$$

где d – расстояние между обкладками конденсатора (2 мм), S – площадь обкладок, C_0 – емкость конденсатора (99,97 пф).

Экспериментальные результаты на рисунке 4, регистрируемые с относительной погрешностью менее 5%, показывают снижение диэлектрической проницаемости с ростом с частоты ВЧ поля [12].

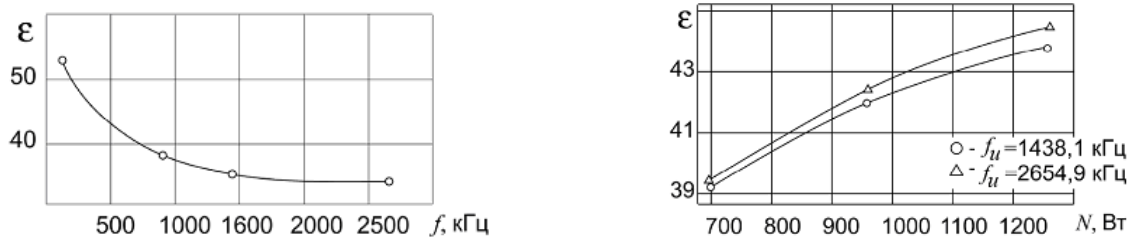


Рис. 4. Зависимости диэлектрической проницаемости технической воды от частоты и мощности [12].

Отмечен значительно более быстрый характер обратной релаксации величины диэлектрических потерь (24 часа до состояния необработанной воды) чем для диэлектрической проницаемости (до 1,2 %) [12].

На рисунках 5, 6 приведены экспериментально полученные графики изменения электропроводности, pH и окислительно-восстановительного потенциала воды при воздействии ВЧ ЭМ поля, за счет изменения в воде растворенного кислорода[4].

Изучалось влияние ЭМ поля 30-200 МГц на равновесие в системе фосфат цинка - вода [13]. Дистиллированную воду подвергали воздействию ВЧ ЭМ поля в течение 90 минут, после чего оставляли на 3 суток и добавляли соль. Показано уменьшение концентрации Zn^{2+} в воде в результате облучения. В необлученной воде концентрация оставалась неизменной. Отмечено смещение гетерогенного равновесия на 50% при первом измерении и на 30% за последующие 5 суток. Результаты приведены в таблице 1

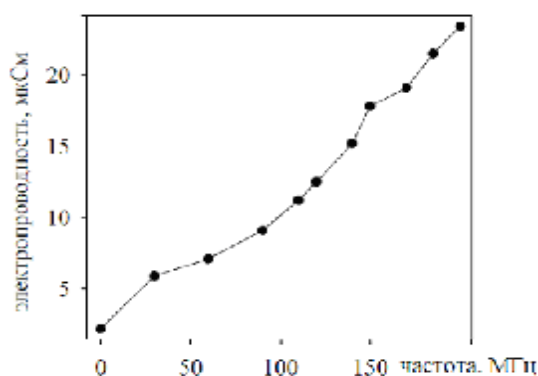


Рис. 5. График электропроводности воды от частоты поля [4].

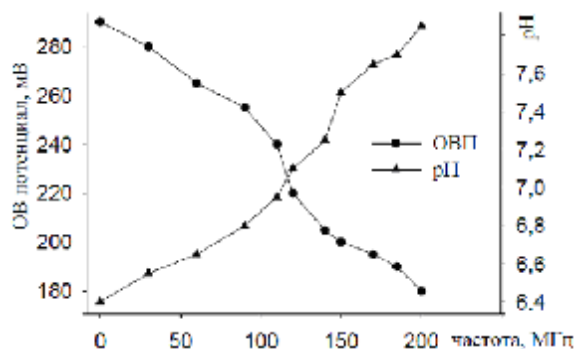


Рис. 6. Зависимости ОВП и рН воды от частоты поля [4].

Подобные результаты также были получены для системы вода – сульфат цинка [14]. Эффект увеличения растворимости особенно заметен на 30 и 160 МГц, максимальное уменьшение растворимости достигнуто на частоте 190 МГц. Причиной изменения активности растворителя является изменение их структуры под действием электрической составляющей ЭМ поля.

Для растворов хлоридов щелочных металлов (10^{-3} моль/л) определено влияние ВЧ ЭМ поля (70-200 МГц, 1 Вт) на их свойства [15]. Максимальное увеличение электропроводности воды (в 5–10 раз) наблюдалось в результате воздействия поля частотой 110, 150 и 170 МГц при концентрации солей менее 10^{-4} моль/л. При увеличении концентрации выше 10^{-2} моль/л изменения электропроводности замечено не было.

Изучено влияние ВЧ ЭМ поля малой мощности на смещение равновесия реакции гидролиза ацетоуксусного эфира. Обнаружено, что величина изменения константы равновесия зависит как от налагаемой частоты, так и от времени воздействия ВЧ поля.

Таблица 1. Изменение концентрации ионов цинка в воде [13].

сутки	концентрация, мг/л в растворах, облученных полем частотой				
	30 МГц	90 МГц	110 МГц	190 МГц	необлученный образец
1	0,586	0,726	0,677	0,710	1,741
2	0,875	1,154	0,911	0,963	1,964
3	1,105	1,408	1,093	1,310	1,884
4	1,075	1,403	1,122	1,416	1,949
5	0,975	1,264	1,020	1,344	1,919

Эффект развивается после облучения в течение 5–15 суток. Также изучалось влияние ВЧ поля на равновесие в реакции омыления ацетоуксусного эфира. Для этого реакционную смесь, состоящую из раствора NaOH и ацетоуксусного эфира, помещали в колбу с обратным холодильником и выдерживали в термостате в течение 4 ч при температуре 65°C, затем охлаждалась до комнатной температуры и выдерживалась в закрытой колбе в течение 3 суток. Отобранные пробы смеси титровали раствором соляной кислоты. Об установлении равновесия судили по постоянству концентрации щелочи в смеси. Из равновесного раствора отбиралась проба 60 мл, помещалась в ВЧ ячейку и облучалась полем одной частоты в течении заданного времени. Источником ВЧ поля служил генератор Г4-119А. Были выбраны несколько частот: 30, 110, 180 МГц и время облучения – 30, 60 и 90 мин на каждой из этих частот. Сразу после облучения раствор титровали и переливали в герметично закрытую посуду. Ежедневно из каждого раствора отбирали пробу и титровали [16].

В кислой среде мурексид (аммонийная соль пурпуровой кислоты) разлагается на урамил и аллоксан, что сопровождается обесцвечиванием фиолетовой окраски. Измерения оптической плотности реакционной смеси производили на фотоколориметре ФЭК-56М. Аналогичные измерения проводили при воздействии на раствор ВЧ поля. Изучалось также влияния ВЧ поля на скорость реакции омыления ацетоуксусного эфира. Облучение реакционных смесей проводили с помощью генератора Г4-119 в диапазоне частот 30-200 МГц в термостатируемой ячейке аксиального типа. ВЧ напряжение на электродах ячейки во всех случаях составляло 20 ± 3 В [17].

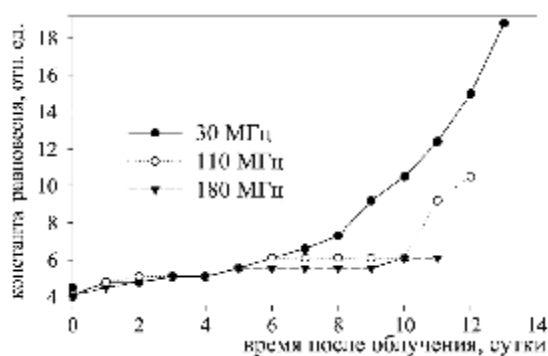


Рис. 7. Зависимость константы равновесия от времени после облучения раствора полем различной частоты в течение 1 часа [16].

Максимальное увеличение скорости обеих реакций достигнуто при частоте 140 МГц. Константа скорости реакции разложения мурексида при этой частоте возрастает на 25%, а константа скорости омыления эфира – на 19% ($T=293\text{ K}$). Дезактивирующее действие ВЧ поля в наибольшей степени выражено при частоте 80 МГц. Константы скорости уменьшаются на 45% и 16%, соответственно, при той же температуре. При снижении температуры характер частотной зависимости констант скоростей сохраняется, однако эффективность воздействия ЭМ поля несколько снижается [17].

В ЭМ поле степень изменения электропроводности и других свойств водного раствора соли зависит от природы катиона, характера его гидратации, частоты ЭМ поля и времени воздействия. Относительное изменение подвижности и коэффициента диффузии в наибольшей степени обнаруживается для положительно гидратированных ионов металлов (Li^+ , Na^+), а свойства отрицательно гидратированных ионов (K^+ , Cs^+) изменяются в меньшей степени. Обнаруживается как увеличение, так и уменьшение электропроводности от частоты ЭМ поля [15].

Влияние слабых ЭМ полей на воду изучали с помощью кристаллов кремния. При этом определяли работу выхода электронов (РВЭ) образцов кремния, взаимодействующей с облучаемой водой. Контрольные образцы Si (100) находились при атмосферном давлении и влажности 60%.

Величины РВЭ контролировали в течение 20 суток. Зависимость $\varphi = f(t)$ в атмосферных условиях приведена на рисунке 8 штрихпунктирной линией [18].

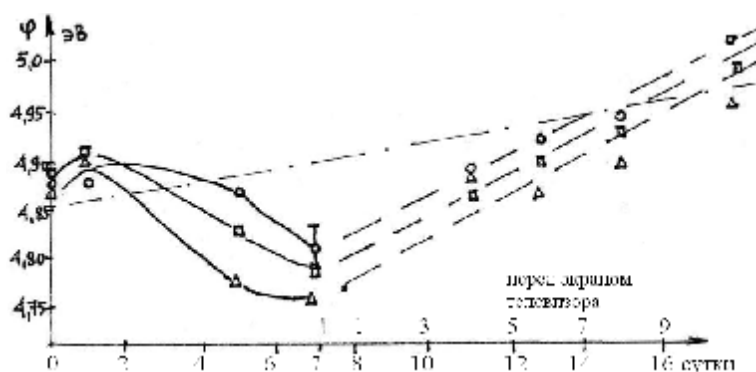


Рис. 8. Зависимость РВЭ φ образцов Si (100), находящихся в дистилляте.

— . — . — Si (100) в атмосферных условиях; — Si (100) в воде;
 — — — Si (100) в воде перед работающим телевизором [18].

Аналогичные образцы Si(100) были помещены в бюксы (объем 10 см³) с дистиллятом. Величины φ для этих образцов измеряли во времени, периодически вынимая их из бюксов и удаляя избыток воды с помощью фильтровальной бумаги. На рисунке 8 приведены графики для трех образцов Si (100). Через 7 суток эти бюксы размещали на расстоянии ~10 см перед экраном работающего телевизора «Рубин» и наблюдения в течение 10 суток. Ежедневно измеряли величину РВЭ образцов. Кинетические кривые $\varphi = f(t)$, иллюстрирующие чувствительность адсорбированной воды к воздействию работающего телевизора, также приведены на рисунке 8 [18].

Изучено влияние УВЧ переменного электрического поля на структуру воды. Выявлена зависимость формы и размеров образующихся структурных ассоциаций молекул воды от направления полевого воздействия - от соотношений направлений векторов: электрического поля, сил поверхностного натяжения и тяжести [19].

Зависимость размеров кластеров в постоянном электрическом поле

изучалось методом рассеяния лазерного излучения. Электрическое поле создавалось двумя одинаковыми плоскими электродами с шириной 1 см и длиной 2 см, расстояние между электродами составляло 1 см. Они фиксировались в специальном держателе вплотную к кювете по одной линии в горизонтальной плоскости на высоте распространения лазерного луча диаметром 3 мм. К электродам подключался источник постоянного тока с напряжением 4,5 В. Индикатрисы рассеяния воды при 300 К регистрировали до и после $t = 10, 20, 30$ минут воздействия поля. На рисунке 9 значения начальных концентраций взяты за 100 % [20].

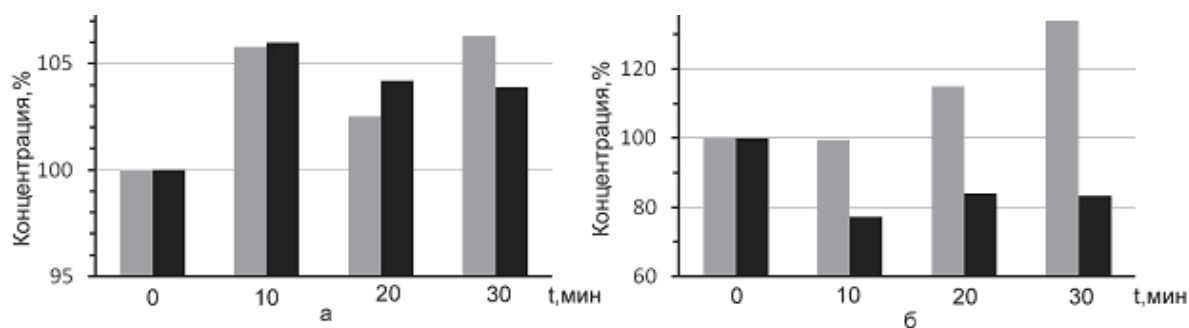


Рис. 9. Изменение относительной концентрации кластеров в постоянном электрическом поле [20]. а) пробы воды содержали сверхкрупные кластеры с $r > 2,5$ мкм, б) не содержали. Суммарная концентрация кластеров обозначена черным цветом, а крупных - серым.

ВЫВОД. Электромагнитное поле ВЧ диапазона может оказывать влияние на свойства воды как растворителя через кластеры воды. При этом влияние поля ощутима при концентрациях примесей менее 10^{-4} моль/л.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Минобрнауки РФ №3.3734.2011 от 24.11.2011г.

Список использованной литературы

1. Vjerrum N., Structure and Prop. of Ice // Science. 1952. - V.115. - №11. - P.385.
2. Лобышев В.И., Рьжиков Б.Д., Шихлинская Р.Э. // Журнал физической химии, 1998. – Т.43. – Вып.4. – С.710.
3. Дерголец В.Ф. Мир воды. – Л., 1979, 254 с.
4. Жидько М.В., Шипунов Б.П. Влияние ВЧ поля на растворимость кислорода в воде и ее физико-химические свойства / Сб. трудов I-ой Международной Российско-

- Казахстанской конференции по химии и химической технологии. - С.77-79.
5. 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.
 6. Бессонова А.П., Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики // Ползуновский вестник, 2008. - №3. - С.305-309.
 7. Семихина Л.П. Исследование влияния слабых магнитных полей на физические свойства воды и льда. Дис. на соиск.уч.степ. к.ф.-м.н., МГУ. - 1989. - 135с.
 8. Синицын Н.И., Петросян В.И., Елкин В.А. // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2000. - №8. - С.83-93.
 9. Петросян В.И. Резонансное излучение воды в радиодиапазоне // Письма в ЖТФ, 2005. – Т.31. – Вып.23. – С.29-33.
 10. Boulanger L. Observations on variations in electrical conductivity of pure demineralized water: modification (“activation”) of conductivity by low-frequency, low-level alternating electric fields // Int. J. Biometeorol. – 1998. – V.41. – P.137-140.
 11. Шаталов В.М. Дегазация биожидкостей как механизм биологического действия слабых электромагнитных полей // Біофізичний Вісник, 2009. - Вип. 23(2). - С.120-128.
 12. Зеленков В.Е. Очистка сточных и оборотных вод предприятий цветной металлургии/Зеленков В.Е., Мусина А.А., Кульсартов В.К.//Труды института «Казмеханобр». – Алма-Ата, 1974. - №13. – С. 214-219.
 13. Тимирязев А.В., Кондратова Е.В., Шипунов Б.П. Влияние ВЧ поля на гетерогенную систему труднорастворимая соль-вода / Сб. трудов I-ой Международной Российско-Казахстанской конференции по химии и химической технологии. – С.189-191.
 14. Шипунов Б.П., Стась И.Е. Применение маломощного высокочастотного электромагнитного поля для направленного изменения скорости гомогенных реакций // Известия вузов. Сер.: Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, вып. 1.
 15. Гердт А.П., Стась И.Е., Аксенова Н.В. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на свойства растворов хлоридов щелочных металлов // Ползуновский вестник, 2010. - №2.
 16. Кондратова Е.В., Тимирязев А.В., Шипунов Б.П., Стась И.Е. Смещение равновесия химической реакции в зависимости от частоты и времени облучения ВЧ-полем // Ползуновский вестник. ХИМИЯ, 2011. - №6. - С.122-125.
 17. Шипунов Б.П., Стась И.Е. Применение маломощного высокочастотного электромагнитного поля для направленного изменения скорости гомогенных реакций // Химия и химическая технология 2010 том 53 вып. 1 С.44-46.
 18. Новиков С.Н. Вода – чувствительный детектор слабых бытовых электромагнитных полей // Квантовая Магия, 2011. – Т.8. - Вып. 1. - С.1135-1138.
 19. http://www.bsmu.by/index.php?option=com_content&view=article&id=4339: 2011-01-12-09-04-51&catid=244:12011&Itemid=52.
 20. Бордюк А.Ю. Светорассеяние воды в слабом электрическом поле // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2011. – Т.52. - №4/5. - С.66-68.