

На правах рукописи

НЕСТЕРЮК ПАВЕЛ ИГОРЕВИЧ

**ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ ПОСЛЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

Специальность 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

БАРНАУЛ-2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет» им. И.И. Ползунова

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы РФ Букатый Владимир Иванович

Официальные оппоненты:

Филимонов Валерий Юрьевич, доктор физико-математических наук, Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова, кафедра экспериментальной физики, профессор кафедры;

Шелехов Александр Петрович, кандидат физико-математических наук, Учреждение Российской академии наук Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН, лаборатория геосферно-биосферных взаимодействий, научный сотрудник.

Ведущая организация:

Федеральное государственное учреждение науки Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Минздравсоцразвития России.

Защита диссертации состоится «19» апреля 2012 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета Д 212.004.06 при Алтайском государственном техническом университете имени И.И. Ползунова, по адресу: 656038, г.Барнаул, пр. Ленина, 46, в аудитории 127 главного корпуса.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова.

Автореферат разослан « »

2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета.

Д.Е. Кривобоков

Общая характеристика работы

Актуальность. В настоящее время применение воды, предварительно обработанной физическими полями различной природы, нашло широкое применение в науке, технике, медицине. Так, например, результаты исследований последних десятилетий в области медицины указывают на то, что действие электрических и магнитных полей на воду приводит к повышению её микробной устойчивости. Однако, до сих пор не выяснены механизмы воздействия, что привлекает интерес исследователей к этой проблеме.

В нашей стране одной из главных проблем здравоохранения является обеспечение населения водой нормативного качества и в достаточном количестве. Особенно остро это ощущается в удаленных небольших населенных пунктах, не имеющих крупных водопроводных станций. В последнее время для решения этой проблемы все чаще стала применяться электрообработка, эффективность которой зависит от физико-химических свойств обрабатываемой воды. А для того, чтобы управлять этими свойствами, важно знать их динамику при действии различных физических полей.

Также важным фактором, влияющим на качество питьевой воды, является содержание в ней различных примесей, в том числе, дисперсных частиц. Одной из задач лабораторного контроля качества воды – определение концентрации и размеров мелкодисперсных частиц в ней. При этом необходимо иметь в виду, что при изучении гидрооптических свойств природной воды часто в качестве сравнительного объекта исследований используется дистиллированная вода, в которой, по литературным данным, приведенным в первой главе диссертации, содержатся неоднородности (кластеры). Природа и размеры этих образований до сих пор являются предметом научных споров и дискуссий. В настоящее время существуют установки, созданные для исследования оптических характеристик воды, в то же время большинство из них не обладают высоким временным разрешением, не автоматизированы и имеют невысокую точность измерений.

В этой связи напрашивается вывод о необходимости создания измерительно-вычислительного комплекса для исследования концентрации и размеров частиц гидрозолей, а также их динамики после внешних физических воздействий. Для этого данный комплекс должен обладать высоким быстродействием, удовлетворительной точностью, относительной простотой реализации и дешевизной.

Можно отметить также высокую эффективность магнитной обработки воды для удаления накипи солей кальция и магния из теплообменной аппаратуры, для повышения крепости бетона и т.д.

Известно, что основная часть физико-химических процессов в природе происходит в водной среде, в том числе процессы тепло- и массообмена. С теоретической точки зрения рассмотрение данного вопроса сопряжено с множеством трудностей, связанных с учетом всех процессов, протекающих как на микро- так и на макроуровне физико-химической системы, что сдерживает практическое применение физических полей для воздействия на воду. В связи с

этим экспериментальное исследование динамики её физико-химических параметров при воздействии физических полей (магнитного, электрического, электромагнитного, ультразвука и т.д.) на воду остается актуальной задачей.

Состояние исследований. В настоящее время в научной литературе можно встретить достаточное количество различных по важности работ, посвященных исследованиям динамики физико-химических свойств воды после воздействия внешних физических полей разной природы. При этом на вопрос о возможности, например, влияния на воду сравнительно сильного магнитного поля напряженностью $\sim 10^5 - 10^6$ А/м, не говоря тем более о слабых полях, современная теоретическая физика дает отрицательный ответ [1]. Из этого напрашивается вывод, что свойства воды до пребывания в поле и после должны быть неизменны. Между тем существует множество экспериментальных работ, например, [2-6], указывающих на изменение основных физико-химических характеристик (рН, удельная электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал) воды в результате воздействия физических полей разной природы, которое сохраняется сравнительно долго (несколько десятков минут). Для выхода из возникших противоречий между научными представлениями о структуре и свойствах жидкой воды и экспериментами разные авторы предлагают следующие подходы: путем учета роли ферромагнитных частиц; введением новых структур воды (льдоподобных и собственно жидких) и изменением их соотношений в физических полях; дегазации жидкости; изменения структуры молекул воды и другие достаточно обоснованные гипотезы.

Все перечисленные выше гипотезы являются качественными и не могут однозначно объяснить накопившиеся к настоящему времени экспериментальные данные. Поэтому вопрос воздействия физических полей на воду, а также на природу изменений, возникших в результате данного действия, остается открытым и требует дальнейшего изучения.

Современные представления о структуре воды, методы и результаты экспериментальных исследований по данной проблеме рассмотрены в ряде работ, например, [7, 8]. В теоретических работах [7, 9] структура воды рассматривается в виде совокупности кластеров с характерными размерами $\sim 10^{-9}$ м и временем жизни (релаксации) $\sim (10^{-10} - 10^{-12})$ с. В то же время в экспериментальных работах [10-15] обнаружены кластеры микронных размеров $\sim 10^{-6}$ м, а также гигантские гетерофазные кластеры с диаметрами $(10^{-5} - 10^{-4})$ м и временем жизни несколько секунд. Опытные данные по структуре воды получены в [10-15] с помощью оптических методов, однако их аппаратная реализация, методики измерений, используемый математический аппарат не позволяют реализовать большое быстродействие и достаточно высокую точность результатов.

При этом нужно иметь в виду, что при рассмотрении вопроса о влиянии структуры воды на изменение её физико-химических свойств ряд авторов механизм воздействия увязывает с кластерной природой жидкости.

Представляется очевидным, что именно наличием достаточно больших и долгоживущих кластеров, их динамикой под действием физических полей можно объяснить существование наблюдаемых в экспериментах значительных изменений физико-химических параметров воды.

Цель работы – создание измерительно-вычислительного комплекса для исследований структурных неоднородностей воды (кластеров) в результате физических воздействий с использованием оптических методов малоуглового рассеяния и флюктуаций прозрачности с применением компьютерной обработки данных, а также разработка методов и проведение исследований динамики основных физико-химических параметров воды после воздействия на нее постоянного магнитного поля (ПМП), низкоинтенсивного лазерного излучения, механического воздействия.

Задачи исследования:

1) Создать измерительно-вычислительный комплекс, включающий в себя экспериментальную установку на основе оптического метода малых углов рассеяния для определения функции распределения частиц (кластеров) по размерам и экспериментальную установку на основе метода флюктуаций прозрачности для определения среднего размера и концентрации частиц (кластеров).

2) Экспериментально подтвердить применимость оптических методов и реализующего их измерительно-вычислительного комплекса для определения среднего размера и концентрации частиц (кластеров), а также функции распределения их по размерам.

3) Разработать методы исследований динамики водородного показателя рН и удельной электропроводности дистиллированной воды после действия постоянного магнитного поля, низкоинтенсивного лазерного излучения, ультразвука и провести соответствующие эксперименты.

Научная новизна

1. Разработан измерительно-вычислительный комплекс, включающий в себя экспериментальную установку для определения функции распределения частиц (кластеров) по размерам в водной среде на основе оптического метода малых углов рассеяния, а также экспериментальную установку для оперативного измерения концентрации и среднего радиуса частиц (кластеров) в водной среде, основанную на оптическом методе флюктуаций прозрачности.

2. Впервые обнаружено изменение функции распределения частиц (кластеров) по размерам в дистиллированной воде после воздействия сильного постоянного магнитного поля с магнитной индукцией 1,5 Тл с помощью разработанного измерительно-вычислительного комплекса на основе оптического метода малых углов рассеяния.

3. Разработаны методы исследований динамики рН и удельной электропроводности воды после воздействия на неё физических полей (постоянного магнитного поля, низкоинтенсивного лазерного излучения, ультразвука), учитывающие время предварительного отстаивания, влияния

пограничного слоя, "возраст" воды, температурный режим, растворимость атмосферных газов.

4. Впервые установлены времена релаксации величины рН и удельной электропроводности воды после отдельного действия на неё постоянного магнитного поля, низкоинтенсивного лазерного излучения и ультразвука.

Достоверность результатов, выводов и научных положений диссертационной работы подтверждается

- использованием современных методов и программ статистической обработки первичных результатов исследований;

- большим объемом экспериментальных исследований, которые не противоречат современным знаниям и фундаментальным основам в области оптики дисперсных сред и науке о структуре жидкости;

- обеспечением представительности выборок при проведении измерений;

- удовлетворительным согласием результатов с представленными в литературе подобными экспериментальными данными, полученными различными авторами из других регионов;

- использованием современного научного оборудования.

Практическая ценность и реализация результатов работы

1) Разработанный измерительно-вычислительный комплекс на основе методов малых углов рассеяния и флюктуаций прозрачности может эффективно использоваться для различных дисперсных сред.

2) Предложенные методы исследований динамики рН и удельной электропроводности воды после воздействия на неё физических полей могут применяться для исследования свойств жидкой воды.

3) Полученные в диссертационной работе результаты используются при проведении научных исследований на кафедре общей и экспериментальной физики АлтГУ и в учебном процессе при выполнении студентами квалификационных работ.

Личный вклад автора. Основные результаты диссертации являются оригинальными и получены лично автором под руководством д.ф.-м.н. В.И. Букатого, который является основным соавтором публикаций. Автору принадлежит разработка и реализация методов исследований динамики рН и удельной электропроводности воды после воздействия на неё физических полей, а также создание измерительно-вычислительного комплекса для исследований структурных неоднородностей воды (кластеров) в результате физических воздействий с использованием оптических методов малого углового рассеяния и флюктуаций прозрачности, и проведение исследований с использованием вышеуказанных методов и измерительно-вычислительного комплекса, интерпретация полученных результатов.

На защиту выносятся:

1) Измерительно-вычислительный комплекс для определения функции распределения частиц (кластеров) по размерам и их концентрация в водной

среде на основе оптических методов малых углов рассеяния и флюктуаций прозрачности.

2) Методы исследований динамики рН и удельной электропроводности воды после воздействия на неё физических полей.

3) Результаты экспериментальных исследований динамики рН и удельной электропроводности дистиллированной воды после действия постоянного магнитного поля, низкоинтенсивного лазерного излучения, ультразвука, а также измерений размеров частиц (кластеров) и их концентрации оптическими методами как до, так и после воздействия постоянного магнитного поля.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на XI, XII Международной научно-практической конференции «Измерение, контроль, информатизация» (Барнаул, 2010, 2011); Третьей всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» (Барнаул, 2010); Международной научно-практической конференции «Региональные экологические проблемы» (Барнаул, 2011); XXXV, XXXVI, XXXVIII научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов и учащихся лицейных классов (Барнаул, 2008, 2009, 2011).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 работ, из них 5 – в изданиях, входящих в Перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 183 наименований и приложения; содержит 25 рисунков; 5 таблиц и изложена на 123 страницах машинописного текста.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, определены объект и предмет исследования, сформулированы цели и основные задачи. Описана научная новизна, теоретическая и практическая ценность диссертации. Приведены сведения о достоверности и обоснованности полученных результатов, об апробации работы и личном вкладе автора. Сформулированы положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе приводится краткий обзор работ, посвященных исследованию строения молекулы воды, а также её структурным моделям, которые проанализированы в хронологическом порядке. Указаны их достоинства и недостатки.

Рассмотрены экспериментальные методы изучения физико-химических свойств и структуры воды, такие, как: сверхбыстрая ИК спектроскопия, методы ядерного магнитного резонанса и квазиупругого рассеяния нейтронов. Приведены литературные данные о зависимости коэффициента самодиффузии воды D от давления при различных температурах, а также зависимости времен диэлектрической релаксации τ_D и ориентационной корреляции τ_O от температуры.

Представлен обзор литературы, содержащий результаты исследований неоднородностей (кластеров) в воде.

В этой главе также содержится обзор литературных данных о современном состоянии исследований влияния относительно слабых электромагнитных полей на физико-химические свойства воды. Приводятся экспериментальные работы различных авторов, подтверждающие изменения физико-химических характеристик воды после действия электромагнитных полей. Рассмотрены различные гипотезы для интерпретации результатов экспериментов.

Приводится также обзор работ, посвященных изучению динамики физико-химических процессов в воде после действия на неё механических колебаний в широком диапазоне частот.

Во второй главе описаны экспериментальные исследования оптических неоднородностей в дважды дистиллированной воде методом малых углов рассеяния и флюктуаций прозрачности.

Приводится описание метода малых углов рассеяния, предложенного К.С. Шифриным, в основе которого лежит экспериментальное определение индикатрисы рассеяния света под малыми углами, содержащей информацию о размере частиц. В теории, описывающей рассеяние света мутной средой, показано, что если параллельный пучок света с длиной волны λ рассеивается совокупностью взвешенных в газовой среде частиц одинакового радиуса r (монодисперсный аэрозоль), то зависимость рассеянного светового потока одной частицей от угла рассеяния β выражается соотношением

$$I(\beta) = I_0 \frac{J_1^2(\rho\beta)}{\beta^2} r^2, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность пучка света, падающего на частицу; J_1 – функция Бесселя первого порядка; $\rho = \frac{2\pi r}{\lambda}$. Применительно к нашему случаю, когда свет распространяется в воде при наличии частиц (гидрозолей) $\lambda = \lambda_0 / n$, где λ_0 – длина волны в вакууме, а n – показатель преломления воды.

Соотношение (1) справедливо при $\beta \ll 1$ и $\rho \gg 1$.

Пусть пучок света проходит через слой различных по размеру частиц с функцией распределения частиц по размерам $f(r)$. В этом случае рассеянный световой поток выражается следующим соотношением:

$$I(\beta) = \frac{I_0}{\beta^2} \int_0^{\infty} f(r) r^2 J_1^2(\rho\beta) dr. \quad (2)$$

Задача обращения интегрального уравнения (2) с целью нахождения функции распределения частиц по размерам $f(r)$ была решена К.С. Шифриным. Окончательно, запишем выражение для функции $f(r)$, которое составляет суть метода малых углов рассеяния

$$f(r) = -\frac{C}{r^2} \int_0^{\infty} F(\rho\beta) \rho(\beta) d\beta, \quad (3)$$

где $F(\rho, \beta) = \rho \beta I_1(\rho \beta) N_1(\rho \beta)$; $N_1(\rho \beta)$ – функция Неймана первого порядка; $\varphi(\beta) = \frac{d}{d\beta} [I(\beta) \beta^3]$; C – нормировочная постоянная.

Таким образом, соотношение (3) дает возможность определения спектра размеров частиц по экспериментально найденной зависимости рассеянного светового потока $I(\beta)$ от угла рассеяния β .

Принципиальная схема экспериментальной установки, созданной нами для реализации метода малых углов рассеяния, представлена на рисунке 1.

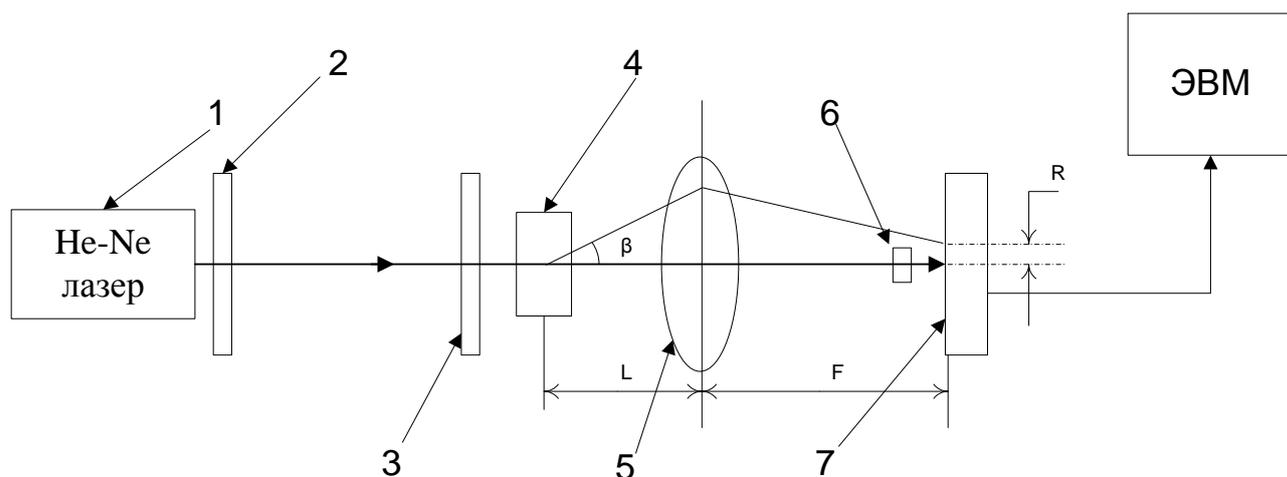


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – гелий-неоновый лазер; 2, 3 – диафрагмы; 4 – спектрофотометрическая кювета; 5 – длиннофокусная линза; 6 – темный непрозрачный экран; 7 – фотодиодная линейка.

В качестве источника излучения (1) использовался He-Ne лазер с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм и мощностью ~ 20 мВт. Диаметр выходного лазерного пучка составлял 3 мм. Регистрация $I(\beta)$ производилась с помощью фотодиодной линейки ФУК1Л1 (7), сигнал с которой поступал на ЭВМ и обрабатывался с помощью специальной программы, разработанной в среде Lab View. Временное разрешение лабораторного комплекса не превышало 0,1 с. Измерения рассеянного света производились в фокальной плоскости приемной линзы (5) с фокусным расстоянием, равным 32 см. Для предотвращения попадания прямого пучка на фотодиодную линейку он экранировался темным непрозрачным экраном (6) размером 2,1 мм, что обеспечивало регистрацию рассеянного света под углами, начиная с минимального угла рассеяния $\beta = 14'$. Максимальный угол рассеяния β , регистрируемый с помощью лабораторного комплекса, составлял 5° .

Типичные функции распределения для двух случаев приведены на рисунке 2. В первом случае (кривая 1) измерения проводились с дважды дистиллированной водой без воздействия на неё внешнего магнитного поля, во втором случае (кривая 2) – после воздействия на неё в течение 30 минут

постоянным магнитным полем с магнитной индукцией 1,5 Тл. Возможной причиной может являться коагуляция (слипание) кластеров в результате их движения под действием силы Лоренца. Таким образом, измерения функции распределения частиц показали наличие в воде без воздействия постоянного магнитного поля спектра размеров кластеров в диапазоне (1,5-6,0) мкм, при этом среднеарифметический радиус составил 2,3 мкм, среднеквадратичный – 2,5 мкм. Для случая воздействия постоянного магнитного поля среднеарифметический радиус составил 2,5 мкм, а среднеквадратичный – 2,8 мкм.

Контрольные измерения на лабораторной установке на основе метода флюктуаций прозрачности проводились на модельных гидрозольях, представляющих собой монодисперсные частицы, в качестве которых служили споры ликопоидия с диаметром (30 ± 1) мкм. В результате измерений было получено, что среднеквадратичный диаметр частиц составил 28,0 мкм, среднеарифметический – 27,5 мкм, что соответствует истинному диаметру в пределах погрешностей измерений, равных 10 %.

В наших экспериментах при определении функции распределения частиц по размерам параметр дифракции ρ изменялся в интервале от 20 до 80, погрешность измерений при этом не превышала 10%.

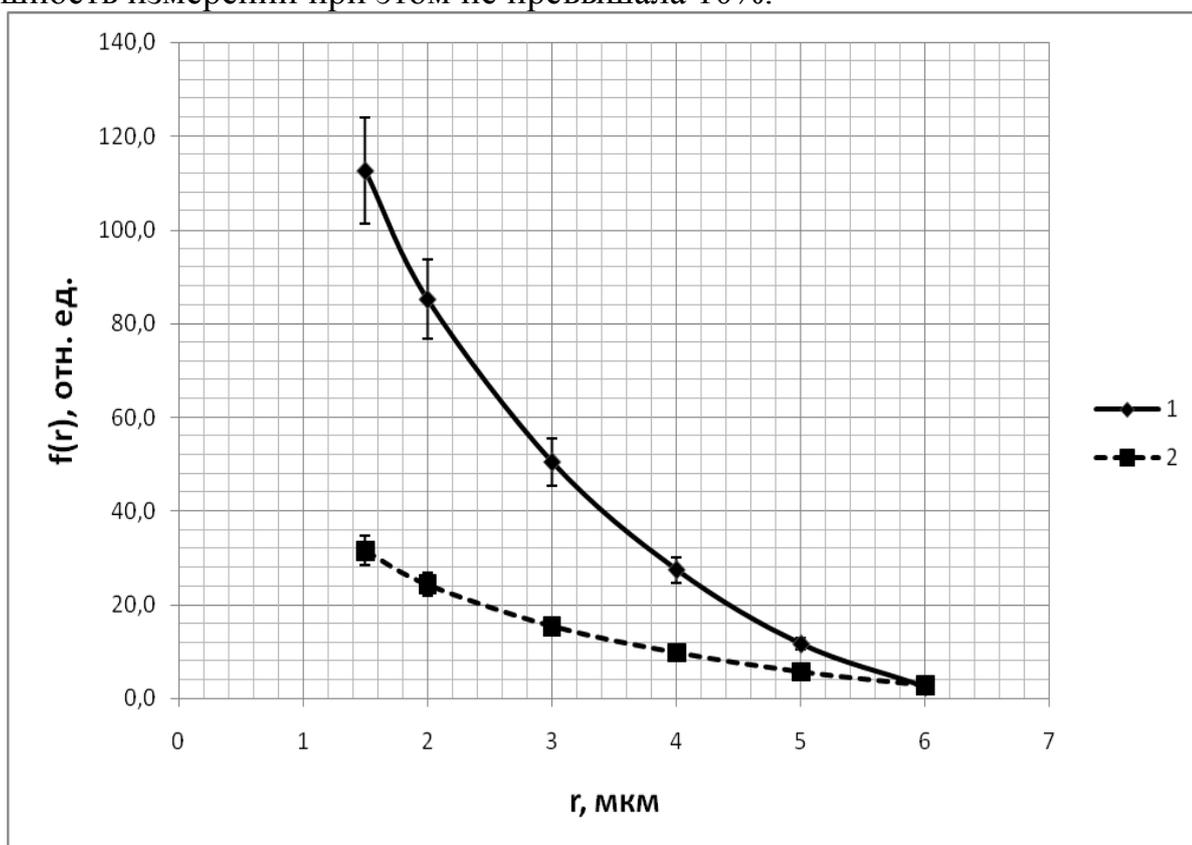


Рис.2. Типичные функции распределения частиц по размерам

Рассмотрим метод флюктуаций прозрачности. Суть теоретического метода, также предложенного К.С. Шифриным, заключается в том, что по измерениям прозрачности и флюктуациям прозрачности дисперсной среды при

отсутствии однонаправленного движения частиц можно определить как средний размер, так и концентрацию частиц. Опыты по измерению оптической прозрачности показывают, что если частиц в световом пучке сравнительно немного, то она испытывает заметные флюктуации, которые вызваны случайными перемещениями частиц. Часто в подобных экспериментах эти флюктуации усредняются и считаются помехой. В действительности, дисперсия прозрачности кроме величины оптической толщины τ зависит непосредственно от числа частиц и их размеров в изучаемом объеме, так что одновременные измерения прозрачности и её дисперсии позволяют определить средний размер и концентрацию частиц. В этом заключается сущность теоретического метода флюктуаций прозрачности.

Приведем окончательные формулы, позволяющие определить средний поперечник ослабления света частицей s_0 и концентрацию частиц \bar{n} через среднюю интенсивность \bar{I} прошедшего через водную среду параллельного пучка света, дисперсию сигнала (интенсивности прошедшего пучка света I) D и площадь сечения пучка S

$$s_0 = (D/I_0^2) [S\tau/\varphi(\tau)]; \quad \bar{n} = \tau/(ls_0); \quad \tau = -\ln(\bar{I}/I_0), \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность падающего пучка, τ – оптическая толщина дисперсной среды, $\varphi(\tau)$ – специальная функция, l – длина пути в среде. Запишем выражение для дисперсии сигнала D

$$D = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{N=1}^N (I_i - \bar{I})^2, \quad (2)$$

где N – число измерений.

Структурная схема разработанного лабораторного комплекса для реализации метода флюктуаций прозрачности подобна приведенной на рисунке 1. Она содержит принципиальные отличия, заключающиеся в источнике излучения и непосредственно приемной части экспериментальной установки.

В качестве источника излучения 1 использовался полупроводниковый лазер с длиной волны $\lambda_0 = 0,64$ мкм, мощностью ~ 1 мВт, угловой расходимостью лазерного пучка $\alpha \approx 10^{-3}$ рад, с питанием от аккумуляторов для обеспечения стабильности излучения. Диаметр выходного лазерного пучка составлял 2-3 мм. Цифрами 2 и 3 на рисунке 1 отмечены диафрагмы, которые отсекали паразитное излучение от элементов оптической системы. После прохождения диафрагм лазерный пучок направлялся на спектрофотометрическую кювету 4 с исследуемой жидкостью, оптический путь луча составлял 3 см. Прошедший через кювету с водой свет попадал на приемную линзу 5. Измерения прошедшего света производились в фокальной плоскости приемной линзы. Для этого использовали фотодиодную линейку 7, сигнал с которой поступал на ЭВМ и обрабатывался с помощью специальной программы, разработанной в среде Lab View 7.1. Под цифрой 6 обозначена приемная диафрагма диаметром $R=1,5$ мм, которая располагалась в фокусе приемной линзы 5. Расстояние от кюветы до приемной линзы составляло более

33 см. При выбранных параметрах источника и приемника излучения максимальный угол рассеяния β составлял $\sim 17^\circ$, что обеспечивало высокую точность измерений прозрачности.

Для автоматизации расчетов концентрации и среднего размера частиц, согласно формулам (2.4.1) и (2.4.2), была специально разработана программа в среде Turbo Pascal 7.0., которая приведена в разделе приложение к диссертационной работе.

Было проведено 4 серии измерений прозрачности, в каждой серии регистрировались 10 значений прозрачности с интервалом в 5 с. Полученный методом флюктуаций средний радиус частиц составил $r = \sqrt{\frac{s_0}{2\pi}} = 2,4 \text{ мкм}$, а концентрация составила $\bar{n} = 4,6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$.

Контрольные измерения на лабораторной установке на основе метода флюктуаций прозрачности также проводились на модельных гидрозоях – спорах ликоподия с диаметром $(30 \pm 1) \text{ мкм}$. В результате измерений было получено, что средний диаметр составил 35 мкм, что соответствует истинному диаметру в пределах погрешностей измерений, равных 15%.

Третья глава посвящена результатам исследований динамики удельной электропроводности и водородного показателя рН дистиллированной воды после действия на неё постоянного магнитного поля (ПМП), низкоинтенсивного лазерного излучения и ультразвука. Также описываются экспериментальные установки для воздействия на воду и методики измерений, учитывающие время предварительного отстаивания, влияния пограничного слоя, ”возраст” воды, температурный режим, растворимость атмосферных газов.

По результатам измерений построены типичные зависимости, представленные на рисунках 3-8.

Было проведено 8 серий измерений динамики рН при воздействии ПМП с магнитной индукцией 1,5 Тл и 10 серий – при использовании низкоинтенсивного лазерного излучения с плотностью мощности $\sim 1,2 \text{ мВт/см}^2$ и длиной волны $\lambda = 632,8 \text{ нм}$. Типичные временные зависимости рН для обоих случаев приведены на рисунках 3 и 4. Как видно из рисунков, значения рН для исследуемых образцов воды, измеренные сразу после воздействия (точнее, спустя 2-3 минуты после погружения электрода в кювету в соответствии с инструкцией к рН-метру), значительно выше, чем для контрольных образцов. Кроме того, во всех случаях с течением времени обнаружено монотонное уменьшение водородного показателя рН до уровня, соответствующего его значению для контрольного образца. Полное время релаксации, когда зависимости под цифрами 1 и 2 на рисунках 3, 4 практически сливаются в пределах погрешности измерений, составляют около 20 мин при лазерном воздействии и порядка 15 мин – в результате действия ПМП. Максимальное увеличение водородного показателя рН в данной серии измерений в среднем

составило величину, равную $2,2 \pm 0,3$ при действии ПМП и $1,4 \pm 0,3$ – при лазерном воздействии.

В другой серии проведенных нами экспериментов по воздействию на дистиллированную воду сравнительно слабого ПМП с магнитной индукцией 0,12 мТл не было обнаружено изменений водородного показателя рН для исследуемых образцов, а его численные значения не отличались от контроля.

Проведенные нами эксперименты при меньших временах воздействия на воду лазерным излучением (5 и 10 минут, соответственно) показали, что при пяти минутах изменения рН для контрольного и исследуемого образца не наблюдаются. При десяти минутах данный эффект выражен значительно слабее, чем представлено на рисунке 4.

При исследованиях динамики удельной электропроводности дистиллированной воды было проведено 10 серий измерений при воздействии ПМП с магнитной индукцией 1,5 Тл и 7 серий – в результате действия низкоинтенсивного лазерного излучения с плотностью мощности $\sim 1,2 \text{ мВт/см}^2$ и длиной волны $\lambda = 632,8 \text{ нм}$. На рисунках 5 и 6 представлены типичные временные зависимости удельной электропроводности (к, в мкСм/см) в результате воздействия ПМП и лазерного излучения для исследуемого и контрольного образцов.

Во всех случаях обнаружено увеличение удельной электропроводности исследуемых образцов воды сразу после внешнего воздействия. Кроме того, имело место “последствие”, когда удельная электропроводность продолжала увеличиваться после прекращения действия ПМП и лазерного излучения в течение времени наблюдения.

В проведенных нами исследованиях при использовании ПМП со значительно меньшим значением магнитной индукции, равной 0,12 мТл, удельная электропроводность для исследуемого и контрольного образцов после воздействия оказалась одинаковой и не изменялась в течение длительного времени (от нескольких часов до одних суток).

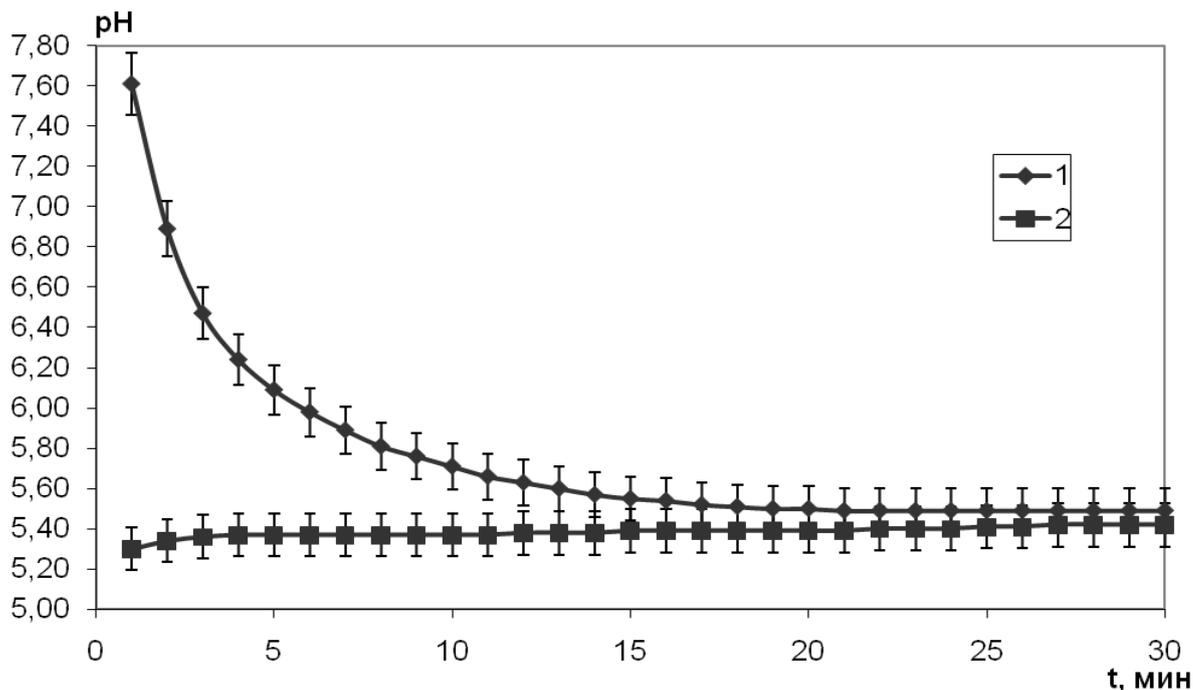


Рис. 3. Зависимость водородного показателя воды pH от времени после воздействия ПМП: 1 – исследуемый образец; 2 – контрольный образец.

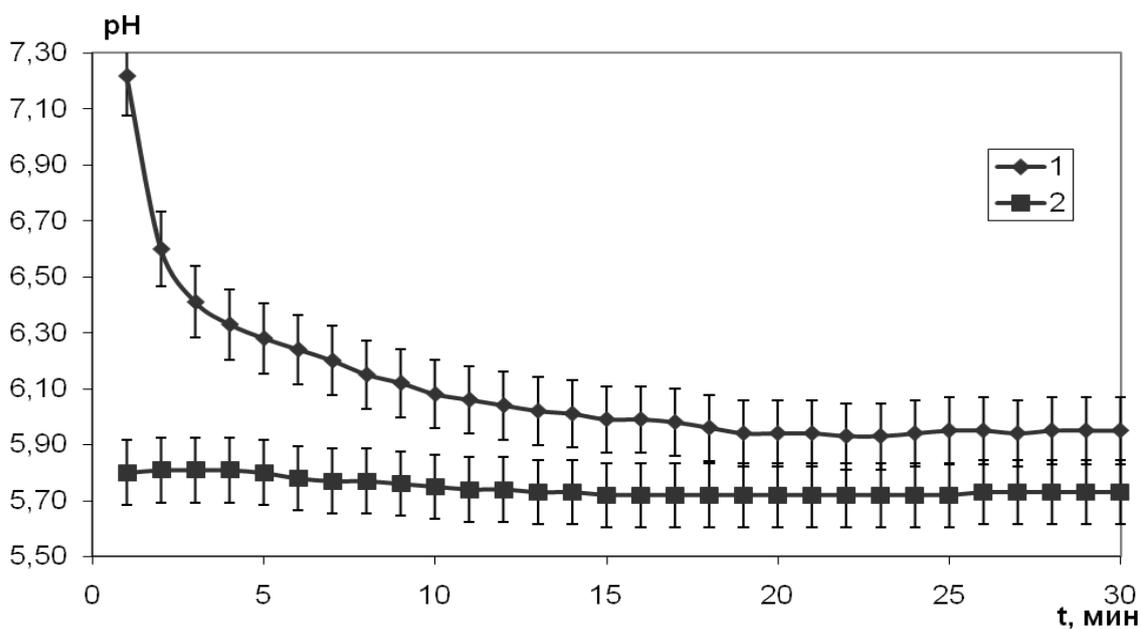


Рис. 4. Зависимость водородного показателя воды pH от времени после воздействия лазерного излучения: 1 – исследуемый образец; 2 – контрольный образец.

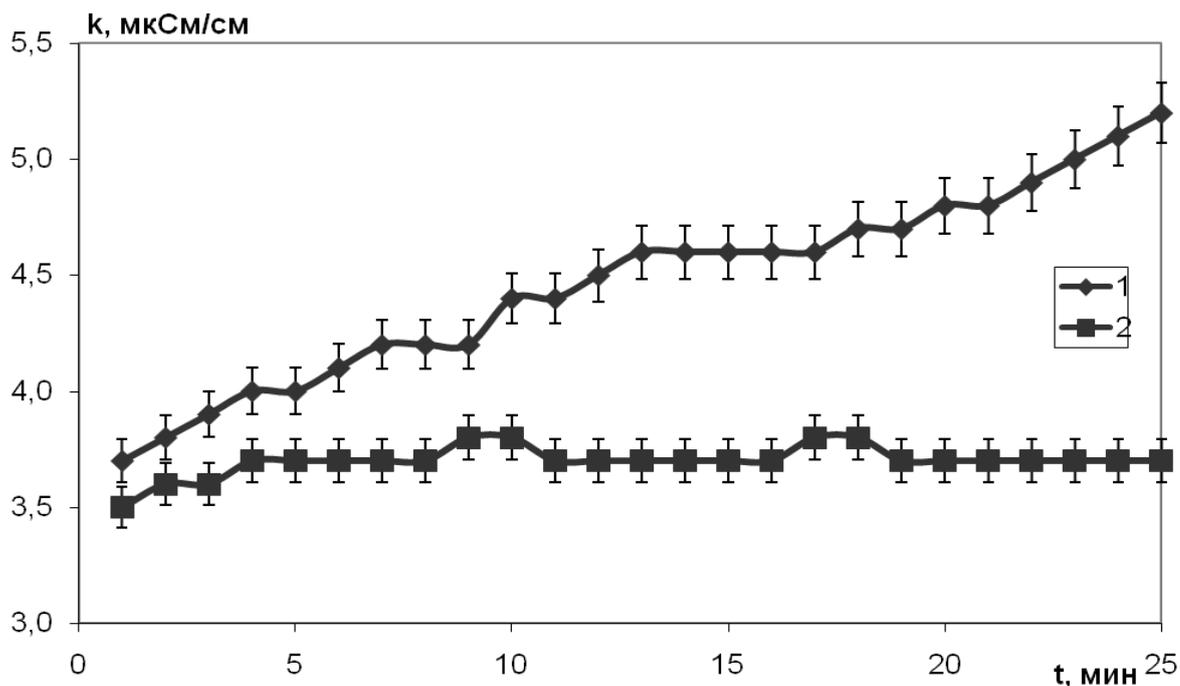


Рис. 5. Зависимость удельной электропроводности воды от времени после воздействия ПМП: 1 – исследуемый образец; 2 – контрольный образец.

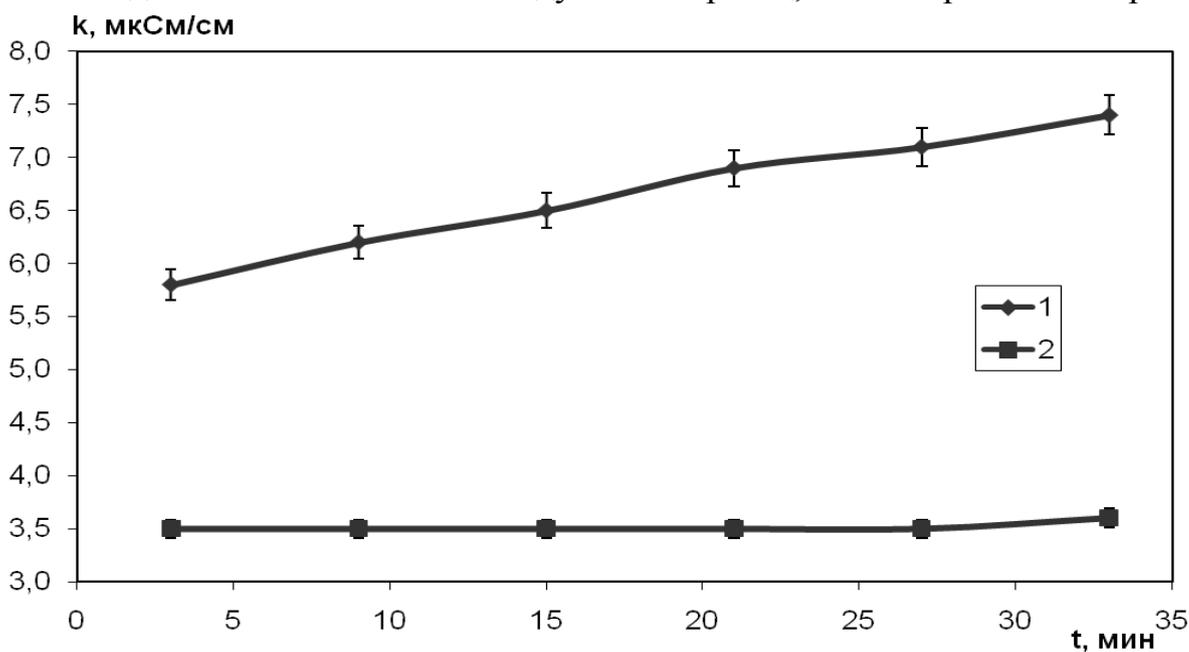


Рис. 6. Зависимость удельной электропроводности воды от времени после воздействия лазерного излучения: 1 – исследуемый образец; 2 – контрольный образец.

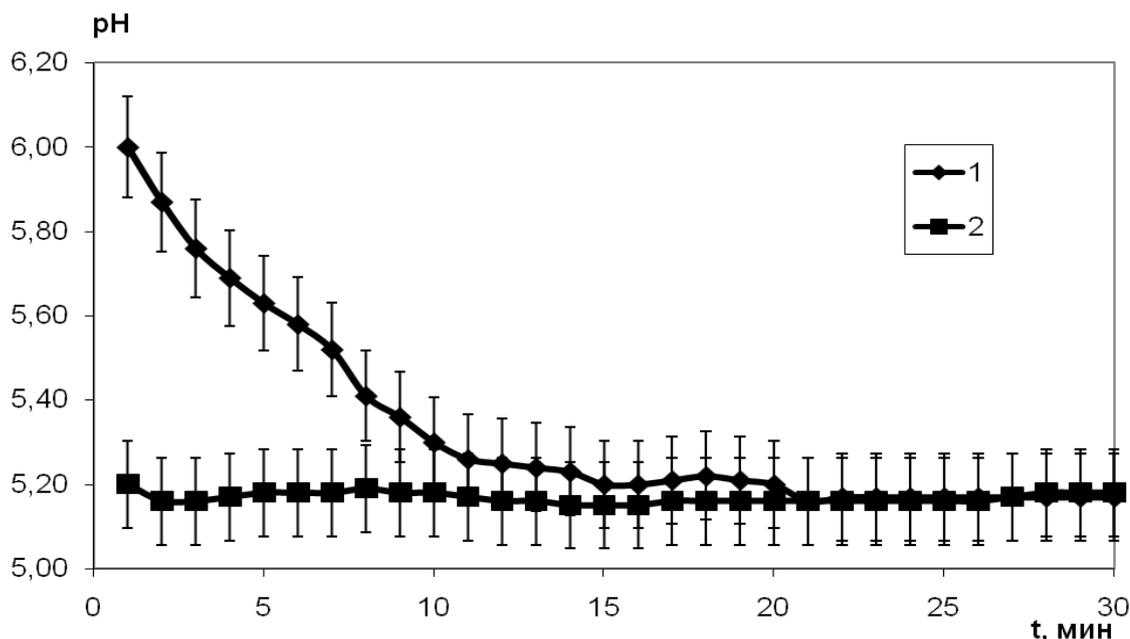


Рис. 7. Зависимость водородного показателя воды pH воды от времени после воздействия ультразвука: 1 – исследуемый образец; 2 – контрольный образец. Время воздействия 1 мин, мощность ультразвука – 280 Вт.

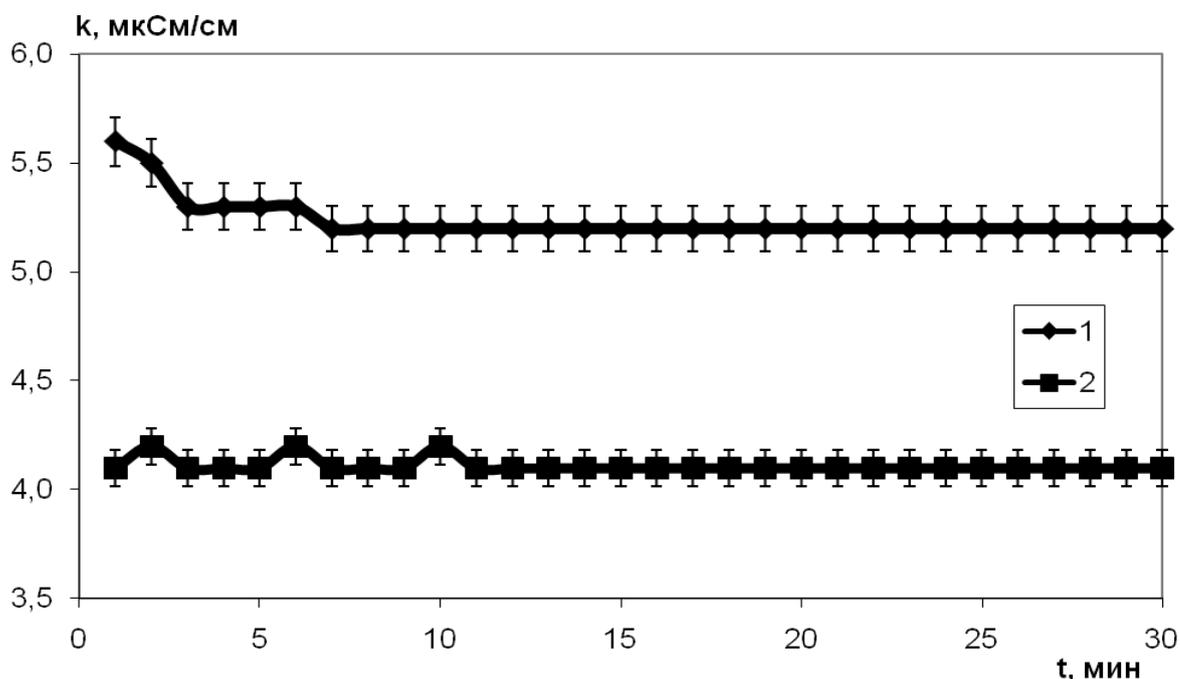


Рис. 8. Зависимость удельной электропроводности воды от времени после воздействия ультразвука: 1 – исследуемый образец; 2 – контрольный образец. Время воздействия 3 мин, мощность ультразвука – 280 Вт.

В опытах по воздействию ультразвука на дистиллированную воду время действия на образцы объемом 60 мл варьировалось в интервале 1-5 минут. Типичные экспериментальные зависимости динамики водородного показателя pH и удельной электропроводности представлены на рисунках 7, 8,

соответственно. При исследовании динамики водородного показателя рН было обнаружено существенное отличие значений для экспериментального образца и контроля в первые 10-15 минут после окончания воздействия. При этом максимальное значение $\Delta pH = 0,8$ наблюдалось при воздействии ультразвука в течение одной минуты, тогда как при 2-х минутах максимум ΔpH составил 0,4, а при 3-х минутах максимальное значение ΔpH составило 0,3. Затем наблюдалось снижение рН до начального значения контроля. При исследовании динамики удельной электропроводности воды после воздействия ультразвука экспериментально было обнаружено время воздействия, равное трем минутам, при котором наблюдалось максимальное различие значений для экспериментального и контрольного образцов, равное $(1,1 \pm 0,4)$ мкСм/см. Во всех опытах по измерению удельной электропроводности спустя 2-3 часа после воздействия обнаружено ее возвращение к первоначальному значению.

Многие исследователи полагают, что данные изменения могут быть вызваны: десорбцией примесей с поверхности сосуда или растворением материала сосуда, повышением растворимости атмосферных газов (в особенности, CO_2) в исследуемой среде, изменением структуры молекул воды и т.д. Проведенный нами анализ физических факторов приводит нас к утверждению, что наиболее вероятной причиной проявления вышеуказанных эффектов является изменение структуры воды, связанное с наличием и динамикой обнаруженных нами кластеров микронного размера.

В заключении приводятся основные результаты, полученные автором в ходе выполнения работы. Выводы по диссертационной работе сводятся к следующему:

1) Разработан и создан измерительно-вычислительный комплекс, включающий в себя экспериментальную установку для определения функции распределения частиц (кластеров) по размерам в водной среде на основе оптического метода малых углов рассеяния, а также экспериментальную установку для оперативного контроля концентрации и среднего радиуса частиц методом флюктуаций прозрачности. Данный измерительно-вычислительный комплекс, обладающий высоким угловым разрешением, позволяет определить функцию распределения частиц по размерам (кластеров) и их концентрацию для воды и водных растворов, в т.ч. любой жидкой среды, оптические параметры которой входят в границы применимости методов малых углов рассеяния и флюктуаций прозрачности.

2) Рассчитанные методом малых углов рассеяния функции распределения частиц по размерам показали наличие в дважды дистиллированной воде (без воздействия ПМП) спектра размеров оптических неоднородностей в диапазоне (1,5-6,0) мкм, при этом среднеарифметический радиус составил 2,3 мкм, среднеквадратичный – 2,5 мкм. Для случая воздействия постоянного магнитного поля среднеарифметический радиус составил 2,5 мкм, а среднеквадратичный – 2,8 мкм.

3) С помощью метода флюктуаций прозрачности в экспериментах определены средняя концентрация и средний размер (радиус) оптических

неоднородностей (кластеров) в дважды дистиллированной воде, которые составили $\bar{n} = 4,6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$ и $r = 2,4$ мкм, соответственно. Это хорошо согласуется со значениями среднеарифметического и среднеквадратичного радиусов, полученных с использованием оптического метода малых углов рассеяния.

4) Разработаны и реализованы методы исследований динамики рН и удельной электропроводности воды после воздействия на неё физических полей (постоянного магнитного поля, низкоинтенсивного лазерного излучения, ультразвука), учитывающие время предварительного отстаивания, влияния пограничного слоя, "возраст" воды, температурный режим, растворимость атмосферных газов.

5) Исследована динамика водородного показателя рН и удельной электропроводности при воздействии на дистиллированную воду ПМП с магнитной индукцией в пределах от 0,12 мТл до 1,5 Тл, низкоинтенсивного лазерного излучения с плотностью мощности $\sim 1,2 \text{ мВт/ см}^2$ и длиной волны $\lambda = 632,8 \text{ нм}$., ультразвука мощностью 280 Вт. Максимальное увеличение рН в результате действия в среднем составило величину, равную $2,2 \pm 0,3$ при действии ПМП (время действия 20 минут) и $1,4 \pm 0,3$ – при лазерном воздействии (время действия 20 минут). В серии экспериментов с ультразвуком максимальное значение $\Delta \text{рН} = 0,8$ наблюдалось при воздействии ультразвука в течение одной минуты. Максимальный рост удельной электропроводности в результате воздействия по отдельности ПМП и лазерного излучения для исследуемого и контрольного образцов составил $\sim 63\%$ и $\sim 92\%$, соответственно. При исследовании динамики удельной электропроводности воды после воздействия ультразвука наблюдалось её увеличение, при этом было обнаружено, что за время действия, равное трем минутам, имело место максимальная разница значений для экспериментального и контрольного образцов, равная $(1,1 \pm 0,4) \text{ мкСм/см}$.

6) Экспериментально определены времена релаксации параметров рН и удельной электропроводности дистиллированной воды после воздействия. В экспериментах по изучению динамики рН полное время релаксации составляет около 20 мин при лазерном воздействии и порядка 15 мин – в результате действия ПМП. В опытах по изучению динамики удельной электропроводности в результате действия ультразвука релаксация наблюдалась спустя 2-3 часа после воздействия.

7) В экспериментах по воздействию на дистиллированную воду сравнительно слабого ПМП с магнитной индукцией 0,12 мТл изменения изучаемых параметров не обнаружено, а при значении магнитной индукции 0,36 мТл зарегистрировано незначительное изменение удельной электропроводности и рН.

Список цитируемой литературы

1. Давидзон, М.И. О действии магнитного поля на слабопроводящие водные системы / М.И. Давидзон // Известия вузов МВ и ССО СССР, физика. - 1985. № 4. –С. 89-94.

2. Багров, В.В. Вода: эффекты и технологии / В.В. Багров, А.В. Десятов, Н.Н. Казанцева и др. // М.: ООО НИЦ «Инженер» -2010. -488с.
3. Акопян, С.Н. Исследования удельной электропроводности воды при воздействии постоянного магнитного поля, электромагнитного поля и низкочастотных механических колебаний / С.Н. Акопян, С.Н. Айрапетян // Биофизика. -2005. -Т. 50. -Вып. 2. -С. 265-269.
4. Бецкий, О.В. Необычные свойства воды в слабых электромагнитных полях / О.В. Бецкий, Н.Н. Лебедева, Т.И. Котровская // Биомедицинская радиоэлектроника. -2003. -№1. -С. 37-44.
5. Стась, И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды / И.Е. Стась, О.П. Михайлова, А.П. Бессонова // Вестник Томского государственного университета. -2006. -№ 62. -С. 43-51.
6. Мокроусов, Г.М. Физико-химические процессы в магнитном поле / Г.М. Мокроусов, Н.П. Горленко // Томск. Томский государственный университет. -1988. -128с.
7. Маленков, Г.Г. Структура и динамика жидкой воды / Г.Г. Маленков // Ж. структур. хим. -2006. -Т.47. -С. 5-35.
8. Фаращук, Н.Ф. Вода – структурная основа адаптации / Н.Ф. Фаращук, Ю.А. Рахманин // М. – Смоленск. -2004. -180с.
9. Антонченко, В.Я. Основы физики воды / В.Я. Антонченко, А.С. Давыдов, В.С. Ильин // Киев: Наукова думка. -1991. -669с.
10. Смирнов, А.Н. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды / А.Н. Смирнов, В.Б. Лапшин, А.В. Балышев и др. // Химия и технология воды. -2005. -Т. 27. -№ 2. -С. 111-136.
11. Гончарук, В.В. Влияние температуры на кластеры воды / В.В. Гончарук, Е.Л. Орехова, В.В. Маляренко // Химия и технология воды. -2008. -Т. 30. -№ 2. -С. 150-158.
12. Бункин, Н.Ф. Фрактальная структура бабстонных кластеров в воде и водных растворах электролитов / Н.Ф. Бункин, А.В. Лобеев // Письма в ЖЭТФ. -1993 -Т.58. -Вып. 2. -С. 91-97.
13. Коваленко, В.Ф. Кластерная природа светорассеяния воды / В.Ф. Коваленко, П.Г. Левченко, С.В. Шутов // Биомедицинская радиоэлектроника. -2008. -№ 5. -С. 36-45.
14. Бункин, Н.Ф. Малоугловое рассеяние лазерного излучения на стабильных образованиях микронного масштаба в дважды дистиллированной воде / Н.Ф. Бункин, Н.В. Суязов, Д.Ю. Ципенюк // Квантовая электроника -2005. -Т. 35. -№ 2. -С. 180-184.
15. Коваленко, В.Ф. Определение формы кластеров воды / В.Ф. Коваленко, А.Ю. Бордюк, С.В. Шутов // Оптика атмосферы и океана. -2011. -Т. 24. -№ 7. -С. 601-605.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы

1. Нестерюк П.И. Изменение пропускания гемоглобина крови человека при воздействии УФ-излучения / В.И. Букатый, Е.В. Семдянкина, П.И. Нестерюк //

Известия Алт. гос. ун-та. - 2009. -№ 1. –С. 111-112 (издание, входящее в Перечень ВАК).

2. Нестерюк П.И. Влияние магнитных полей и электромагнитного излучения на физико-химические свойства воды / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк, П.П. Черненко // Вестник алтайской науки. -2010 г. -№ 1(8). –С. 47-53.

3. Нестерюк П.И. Измерение физико-химических характеристик воды при различных физических воздействиях с учетом переходных процессов / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк // Ползуновский вестник. -2010г. -№ 2. –С. 59-64 (издание, входящее в Перечень ВАК).

4. Нестерюк П.И. Динамика физико-химических свойств дистиллированной воды под действием различных физических факторов / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк // Материалы XI Международной научно – практической конференции «Измерение, контроль, информатизация». г.Барнаул. -2010 г. –С. 124-126.

5. Нестерюк П.И. Сравнение физико-химических свойств дистиллированной и природных вод, подвергающихся воздействию различных физических факторов / В.И. Букатый, Ю.И. Винокуров, П.И. Нестерюк // Материалы третьей всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов». г. Барнаул. -2010 г. – С. 335-338.

6. Нестерюк П.И. Исследование оптических неоднородностей в бидистиллированной воде оптическим методом малых углов / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк // Материалы XII Международной научно – практической конференции «Измерение, контроль, информатизация» г. Барнаул. -2011. -С. 64-67.

7. Нестерюк П.И. Исследование оптических неоднородностей (кластеров) в бидистиллированной воде оптическим методом малых углов / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк // Ползуновский вестник. -2011. -№ 3/1. –С. 106-108 (издание, входящее в Перечень ВАК).

8. Нестерюк П.И. Исследование оптических неоднородностей в дважды дистиллированной воде оптическим методом малых углов рассеяния и методом флюктуаций прозрачности / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк // Известия Алт. гос. ун-та. -2011. № 1(2). –С. 137-141 (издание, входящее в Перечень ВАК).

9. Нестерюк П.И. Метод флюктуаций прозрачности и лабораторный комплекс для контроля концентрации и размеров частиц в водных системах / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк // Ползуновский вестник. -2011. -№ 4/1. –С. 84-86 (издание, входящее в Перечень ВАК).

10. Нестерюк П.И. Разработка измерительно-вычислительного комплекса и метода малых углов рассеяния для контроля оптических неоднородностей (кластеров) в бидистиллированной воде после действия магнитного поля / В.И. Букатый, П.И. Нестерюк // Электронный физико-технический журнал. -2012. -Т.7. –С. 6-10.

Подписано в печать 13.03.2012. Формат 60x84 1/16
Печать – ризография. Усл. п.л. 2 Тираж 100 экз. Заказ ___/___
**Издательство Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46.**
Лицензия: ЛР № 020822 от 21.09.98 года, ПЛД № 28-35 от 15.02.97
Отпечатано в ЦОП АлтГТУ 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46