

На правах рукописи

ВЕРХОВ ДМИТРИЙ ГЕННАДИЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА
ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЖНЫХ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

03.01.02 – Биофизика

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ**

на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Саратов 2016

Работа выполнена на кафедре медицинской физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
Усанов Андрей Дмитриевич

Официальные оппоненты:

доктор химических наук, начальник 4-го
управления ФГУП «Научно-исследовательский
институт прикладной акустики»
Кузнецов Павел Евгеньевич

кандидат физико-математических наук,
генеральный директор ООО «Телемак»
Дубовицкий Сергей Александрович

Ведущая организация:

ФГБУН Институт биохимии и физиологии
растений и микроорганизмов РАН (ИБФРМ РАН),
г. Саратов.

Защита диссертации состоится 29 декабря 2016 г. в 15 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.243.05, созданного на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского», по адресу 410012, г. Саратов, ул. Университетская, д. 40, корпус III, аудитория 34.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке имени В.А. Артисевич ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» и на сайте <http://www.sgu.ru/research/dissertation-council/d-212-243-05/kandidatskaya-dissertaciya-verhova-dmitriya>

Автореферат разослан _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор



Павлов Алексей Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Среди множества антропогенных факторов, влияющих на биологические системы, особое внимание уделяют переменным магнитным полям (ПМП). Переменные электрические и магнитные поля постоянно сопровождают все природные процессы на Земле. Особое место среди различных типов электрических и магнитных воздействий занимают низкочастотные магнитные поля, действие которых на биообъекты многие исследователи связывают с изменением характеристик воды и водных растворов [Семихина Л.П. 1981.; Киселев В.Ф. и др. 1990.; Новиков В.В. и др. 1999.; Бурлакова Е.Б. и др. 2004.].

В работах А.Д. Усанова с соавторами в качестве индикатора такого воздействия использовалась пресноводный рачок дафния (*Daphnia magna* Straus), являющаяся признанным биотестом при анализе качества воды. При воздействии переменного магнитного поля происходил сдвиг частоты сердцебиений дафнии [Усанов Д.А. и др. 2001.; Усанов Д.А. и др. 2003.]. Также показано, что действие переменного магнитного поля на семена однодольных и двудольных растений сопровождалось увеличением от 10 до 30 % их митотической активности [Беляченко Ю.А. и др. 2007.]. Для измерения результатов воздействия ПМП использовался также резонаторный СВЧ-метод определения изменения характеристик водной среды (диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь) [Усанов Д.А. и др. 2009.]. Однако использование этого метода требует предварительной калибровки, что при измерении двух параметров: диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, является дополнительным источником погрешностей. Волноводный СВЧ-метод исследования использовался для определения влияния переменного магнитного поля на физические характеристики зерновок сорго [Постельга А.Э. и др. 2008.]. Было установлено, что максимальное изменение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь для этого вида семян происходит на частоте ~10 Гц. Представляет интерес выяснение с помощью СВЧ-методов влияния низкочастотного переменного магнитного поля на характеристики широкого набора различных видов семян растений и выяснение специфики влияния частоты магнитного поля.

Поскольку все живые объекты содержат воду, то изменения их характеристик, происходящие под действием переменного магнитного поля, могут быть связаны с изменением параметров водной среды. Кроме того, известны соединения, присутствующие в живых организмах в качестве метаболитов, которые способны модифицировать структуру воды. Таким веществом, в частности, является мочевины, для которой любая вода – структурированная или обычная, являются хорошим растворителем [Ling G.N. et al. 1993.]. Поэтому представляет интерес провести исследование с

использованием мочевины в составе водных растворов, обработанных ПМП, в качестве растворителя веществ. В биологических объектах вода связана с органической (белковой) частью клеток. Так в работе [Rebrov V.G. et al. 2011.] было показано влияние ПМП на структурную организацию воды белками животного и растительного происхождения. После воздействия ПМП на водные растворы белков наблюдалось увеличение в $\sim 1,5-2$ раза доли связанной воды этими белками относительно необработанных растворов. Также известно отличие связанной воды от обычной, которое заключается в ее сниженной растворяющей способности [Gortner R.A. 1930.].

Тем не менее, влияние низкочастотного переменного магнитного поля на структурную организацию воды в биологических объектах в настоящее время недостаточно изучено. Проведение таких исследований актуально, так как в результате могут быть определены частоты ПМП, на которых эффект воздействия проявляется наибольшим образом. Это может послужить основой для объяснения влияния низкочастотного переменного магнитного поля на процессы растворения солей и органоминералов, а также на изменения физических характеристик семян, связанных с изменением свойств воды.

В связи с вышесказанным актуальным является исследование влияния ПМП на растворяющие свойства воды, что открывает возможность влиять как на процессы растворения солей, в том числе в биологических структурах, так и на изменение физических параметров семян растений.

Цель диссертационной работы: выявить закономерности изменения физических характеристик водных растворов многокомпонентных органоминеральных и сложных биофизических систем при воздействии переменного магнитного поля.

Задачи исследования:

1. Исследовать влияние низкочастотного переменного магнитного поля на изменение физических характеристик водных растворов на примерах растворения солей сульфата меди (II) и органоминералов человека *in vitro*;
2. Исследовать влияние ПМП на электрофизические параметры на СВЧ водных растворов на примере водного раствора соли сульфата меди (II) и различных видов семян.

Научная новизна

Исследованы зависимости изменения пропускания света и плотности водных растворов соли от частоты воздействия низкочастотного ПМП на примере хорошо растворимой соли сульфата меди (II) CuSO_4 . Установлено, что в случае воздействия ПМП на воду, служившую в дальнейшем растворителем соли, максимальные изменения величины пропускания света и плотности водного раствора наблюдались при воздействии магнитного поля с частотой ~ 24 Гц, а в случае омагничивания готового водного раствора – в районе 2-3 Гц. Также установлено, что в окрестности частоты

воздействующего ПМП 2 Гц наблюдается максимальное количество растворенного вещества органоминералов. Показано, что под действием переменного магнитного поля на насыщенные растворы соли сульфата меди (II) происходит изменение величин диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь на СВЧ этих растворов. Максимальные изменения данных электрофизических параметров наблюдаются при воздействии переменного магнитного поля с частотой ~2 Гц. Показано влияние низкочастотного ПМП на диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь на СВЧ семян различных видов растений. Установлено, что максимальные изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сухих и предварительно замоченных семян в большинстве случаев происходят при воздействии низкочастотного ПМП в окрестности частоты 10 Гц.

Достоверность результатов диссертации

Достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечивается использованием стандартной измерительной аппаратуры, а также высокой степенью автоматизации процесса регистрации экспериментальных данных. При проведении измерений предпринимались меры по обеспечению постоянства температуры с целью нивелирования влияния данного физического фактора на результаты экспериментов.

Практическая значимость

1. Воздействие переменного магнитного поля на воду можно использовать при регулировании процессов растворения веществ в воде, либо увеличивая, либо уменьшая ее растворяющую способность в зависимости от требуемых условий.
2. Влияние переменного магнитного поля с максимально эффективной частотой на воду и растворы мочевины, в которых происходит растворение органоминералов из организма человека, позволяет увеличить их растворение, что представляет интерес для терапии мочекаменной болезни.
3. В случае использования в качестве растворителя водных растворов мочевины наблюдается более эффективное растворение и разрушение мочевых камней человека *in vitro* по сравнению с использованием при этом обычной воды, что также может быть использовано в процессах растворения патоминералов *in vivo*.
4. Влияние переменного магнитного поля на изменения электрофизических параметров на СВЧ семян, связанные с повышением митотической активности семян, позволяют судить о стимулирующем эффекте действия магнитного поля на семена, что в итоге может привести к повышению урожайности.
5. Результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, использованы в учебном процессе для подготовки магистров,

обучающихся по направлению «Физика» профиль подготовки «Медицинская физика», в учебных курсах «Биофизические аспекты воздействия электромагнитных полей» и «Биофизические аспекты действия электромагнитного излучения на клетку», изучаемых студентами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ.

Положения, выносимые на защиту:

1. При растворении соли CuSO_4 в дистиллированной воде, обработанной низкочастотным ПМП с частотой из диапазона 11-25 Гц в течение 1 часа, пропускание света в опытных растворах было меньше, а их плотность – больше по сравнению с контрольным раствором, тогда как при аналогичной обработке с частотой из диапазона 1-10 Гц пропускание в опытных растворах было больше, а их плотность – меньше, чем в контроле. При воздействии низкочастотного ПМП на готовые водные растворы соли наблюдается противоположный эффект действия ПМП на тех же частотах.
2. Максимальное количество растворенного вещества при растворении органоминералов оксалатного типа из организма человека наблюдается при воздействии переменного магнитного поля с частотой ~2 Гц на воду, в которой находился патоминерал, и было выше, чем количество растворенного вещества патоминералов в контрольных растворах (без воздействия ПМП). Эффективность разрушения образцов, сопровождающееся выходом растворимых компонентов в растворы, повышалась, если вместо воды использовали водный раствор мочевины.
3. Максимальные изменения величин диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь водных растворов соли CuSO_4 в СВЧ диапазоне происходят при воздействии переменного магнитного поля с частотой в районе 2 Гц, на которой наблюдаются максимальные изменения растворяющей способности воды.
4. При воздействии ПМП с частотой около 10 Гц на семена различных видов растений происходят максимальные изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь на СВЧ семян, что соответствует максимальному увеличению концентрации растворенного в воде кислорода, являющимся одним из факторов, стимулирующих клеточное деление.

Апробация работы

Основные положения и результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. Всероссийском конкурсе научных работ бакалавров и магистрантов «Биосовместимые материалы и покрытия», проводимом в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-

- педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (г. Саратов, 2010).
2. Научно-практической Всероссийской конференции (школе-семинаре) молодых ученых «Современные исследования в области естественных и технических наук: междисциплинарный поиск и интеграция» (г. Тольятти, 2012).
 3. Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные вопросы биомедицинской инженерии» (г. Саратов, 2013).
 4. Ежегодной Всероссийской научной школе-семинаре «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине - 2013» (г. Саратов, 2013).
 5. Всероссийской научной школе-семинаре «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами» (г. Саратов, 2014, 2015).

По результатам исследований, выполненных при работе над диссертацией, опубликовано 13 работ, в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечень ВАК, тезисы 8 докладов на всероссийских конференциях.

Личное участие автора заключалось в проведении критического анализа литературных данных по теме диссертации, выполнении экспериментальных исследований по влиянию переменного магнитного поля на исследуемые объекты, установлении зависимостей изменения измеряемых величин от частоты переменного магнитного поля, разработке и применении нового методического подхода в проведении процесса растворения органоминералов из организма человека посредством действия на водные растворы ПМП на заданной частоте, а также использования мочевины в целях увеличения эффективности разрушения мочевых камней, обработке и анализе полученных результатов и участии в формулировании научных положений и выводов.

Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 116 страниц машинописного текста, включая 26 рисунков и 2 таблицы. Список литературы содержит 171 наименование и изложен на 19 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

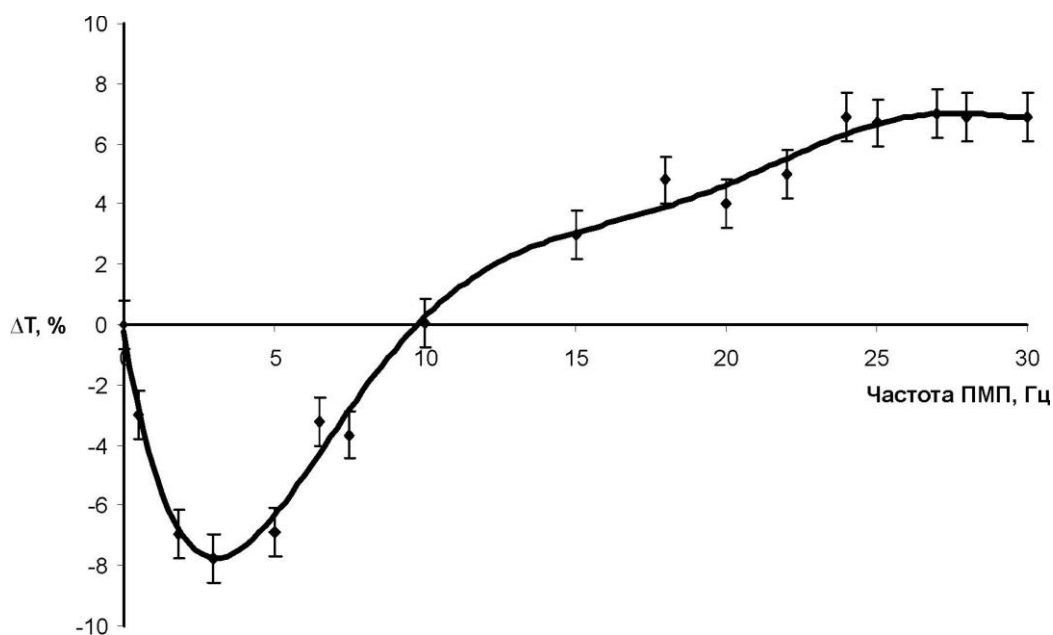
Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулирована цель диссертационной работы, определена новизна исследований, обсуждена практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, изложено краткое содержание диссертации.

В первом разделе приведен критический анализ исследований влияния переменных магнитных полей на различные параметры водной среды и биологических объектов. Обоснована актуальность исследования влияния переменных магнитных полей на изменение растворяющих свойств воды, приводящих к регулированию процесса растворения различных веществ. Также показана актуальность поиска новых методических подходов в терапии мочекаменной болезни человека, основанных на более эффективных способах растворения патогенных минералов посредством увеличения растворяющих свойств растворителя. Рассмотрено влияние магнитных полей на семена растений. Отмечено, что влияние ПМП может стимулировать процесс набухания при проращивании семян, что способствует активации роста и развития растений.

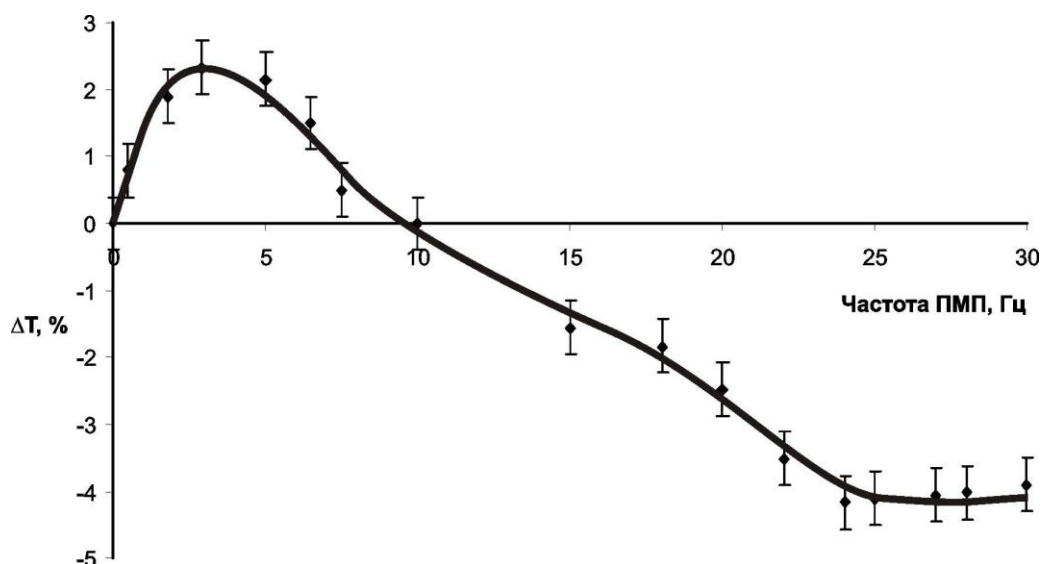
Во втором разделе приведены результаты исследований по влиянию низкочастотного переменного магнитного поля с частотами из диапазона 1-30 Гц на изменение физических характеристик водного раствора на примере растворения соли сульфата меди (II). Показано, что в случае обработки дистиллированной воды, используемой в дальнейшем как растворитель соли, ПМП с частотой из диапазона ~11-25 Гц, происходило уменьшение пропускания света в водных растворах соли и увеличение их плотности, а при частотах из диапазона ~1-10 Гц – увеличение пропускания и уменьшение плотности. При использовании готовых водных растворов соли сульфата меди (II) наблюдался противоположный эффект действия ПМП на тех же частотах.

Эксперименты проводились на насыщенных водных растворах соли сульфата меди (II), которые готовились на дистиллированной воде в объёмах по 10 мл с добавлением соли массой 3 г. Растворы соли готовились двумя различными способами: в первом случае соль растворяли в воде после часового воздействия на воду ПМП, во втором - растворение проводили непосредственно перед воздействием ПМП. Контрольные (в необработанной магнитным полем воде) и опытные растворы готовились одновременно в одних температурных условиях, что исключало влияние этого фактора на растворение соли при проведении экспериментов. Изменения растворяющей способности воды в контрольных и опытных растворах оценивали с использованием спектрофотометра Shimadzu UV-1700 (Япония) в спектрах на пропускание (Т, %) при длине волны 470 нм. Разница в значениях пропускания света в контрольных и опытных растворах ($\Delta T = T_{\text{контр}} - T_{\text{опыт}}$) в зависимости от частоты ПМП была получена из их средних арифметических значений.

Полученные в результате исследований зависимости изменения пропускания света ΔT в растворах от частоты воздействия ПМП представлены на рисунке 1. После воздействия ПМП в интервале частот 1-3 Гц в течение часа на опытный образец воды, в дальнейшем служившей растворителем соли (рисунок 1а), наблюдается спад величины ΔT от значений, характерных для контрольного раствора, до минимального значения вблизи частоты ПМП 3 Гц. В диапазоне частот ПМП 1-10 Гц значения ΔT были отрицательными, так как пропускание T в контрольном растворе было меньше, чем пропускание T в опытных растворах. С ростом частоты воздействующего ПМП от 3 до 10 Гц значения пропускания света в опытных растворах постепенно приближались к значению T в контрольном растворе. Это свидетельствует о том, что с ростом частоты воздействия ПМП на воду, служившую в дальнейшем растворителем соли, в опытных растворах начинало растворяться всё больше соли. В окрестности частоты магнитного поля 10 Гц наблюдалась инверсия действия поля. На этой частоте значения пропускания и для контрольного и для опытного растворов совпадали, а затем с ростом частоты магнитного поля значения T в опытных растворах на спектрах пропускания становились меньше, чем значение пропускания в контрольном растворе, следовательно, в опытных растворах, полученных при предварительном воздействии на воду ПМП с фиксированной частотой из диапазона 11-30 Гц, с последующим растворением в ней соли CuSO_4 содержалось большее количество растворенной соли, и растворяющая способность воды была выше, чем в контрольном растворе. Рост значений ΔT наблюдался до момента насыщения в окрестности частоты ПМП 24 Гц, после чего значения ΔT практически не изменялись.



а



б

Рис. 1. Зависимости изменения пропускания ΔT в растворах от частоты ПМП: а - для случая, когда соль растворяли в воде после воздействия ПМП, б - для случая, когда соль растворяли в воде перед воздействием ПМП

В случае, когда «омагничивался» готовый водный раствор соли (рисунок 1б), наблюдался противоположный эффект действия ПМП на тех же частотах: в диапазоне частот 1-3 Гц значения ΔT возрастали с ростом частоты воздействующего ПМП, тогда как в интервале 3-25 Гц наблюдалось уменьшение ΔT , которое прекращалось при частоте ПМП в районе 25 Гц. В случае воздействия ПМП в диапазоне частот 1-10 Гц на готовый водный раствор соли значения пропускания в опытных растворах были меньше, чем значение пропускания в контрольном растворе. Это свидетельствует о том, что в этом диапазоне частот проявлялась большая растворяющая способность воды как растворителя и была максимальна при воздействии ПМП с частотой в районе 2-3 Гц.

Были проведены также измерения плотности водных растворов соли CuSO_4 при различных частотах ПМП. Опыты проводились при постоянной температуре 24,2 °С. Результаты определения плотности растворов с использованием ареометров были аналогичны результатам, полученным спектрофотометрическим методом.

На основании полученных результатов сделано заключение о том, что при обработке дистиллированной воды, используемой в дальнейшем как растворитель соли сульфата меди (II), ПМП низкой интенсивности с частотой из диапазона ~3-25 Гц в течение часа происходило увеличение ΔT и плотности опытных растворов по сравнению с контрольным, что свидетельствует об увеличении растворяющей способности воды, так как в опытных растворах растворилось большее количество соли. При обработке дистиллированной воды ПМП низкой интенсивности с частотой из диапазона ~1-3 Гц происходило уменьшение ΔT и плотности опытных растворов по

сравнению с контрольными значениями, что свидетельствует об уменьшении растворяющей способности воды.

В случае воздействия ПМП в диапазоне частот 1-3 Гц на готовые водные растворы соли значения ΔT и плотность опытных растворов возрастали с ростом частоты воздействующего ПМП по сравнению с величинами, соответствующими контрольному раствору, тогда как в интервале 3-25 Гц наблюдалось уменьшение значений ΔT и плотности опытных растворов, а значит и уменьшение растворяющей способности воды в этих растворах. Воздействие переменного магнитного поля на воду можно использовать при регулировании процессов растворения веществ в воде.

В третьем разделе приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию переменного магнитного поля на растворение органоминералов человека *in vitro*. Показано, что в опытных растворах, обработанных ПМП с частотой из диапазона 2-9 Гц, происходит уменьшение пропускания света в этих растворах в процессе растворения мочевых камней по сравнению с контрольными растворами. При воздействии на растворы ПМП с частотами 11 и 22 Гц напротив, наблюдается увеличение пропускания света в опытных растворах относительно контроля. Кроме того, показано, что эффективность разрушения мочевых камней *in vitro* можно увеличить, используя для этого водные растворы мочевины, обработанные ПМП с частотой 2 Гц.

Опыты проводились на водных суспензиях диспергированного до размера фракции 0,1-0,5 мм мочевого камня оксалатного типа. Рабочий объём суспензий составлял 8 мл. Перед проведением измерений суспензии отфильтровывались, и работы проводились с отфильтрованными растворами.

Эффективность растворения органоминералов в опытах определяли спектрофотометрическим методом в величинах на пропускание (Т, %). Регистрацию спектров проводили через каждые 15 мин. воздействия ПМП в течение часа на спектрофотометре Shimadzu UV-1700 (Япония) при комнатной температуре в кварцевых кюветах размером 1×1×4,5 см. Спектры анализировали в максимумах поглощения матричных белков мочевых камней при длине волны $\lambda=290$ нм.

На рисунке 2 представлены зависимости пропускания света в растворах, полученные на длине волны 290 нм, от времени растворения образца мочевого камня в дистиллированной воде, находящегося в течение 60 минут под действием ПМП с частотой из диапазона 2-9 Гц. Представленные значения Т являются средними арифметическими.

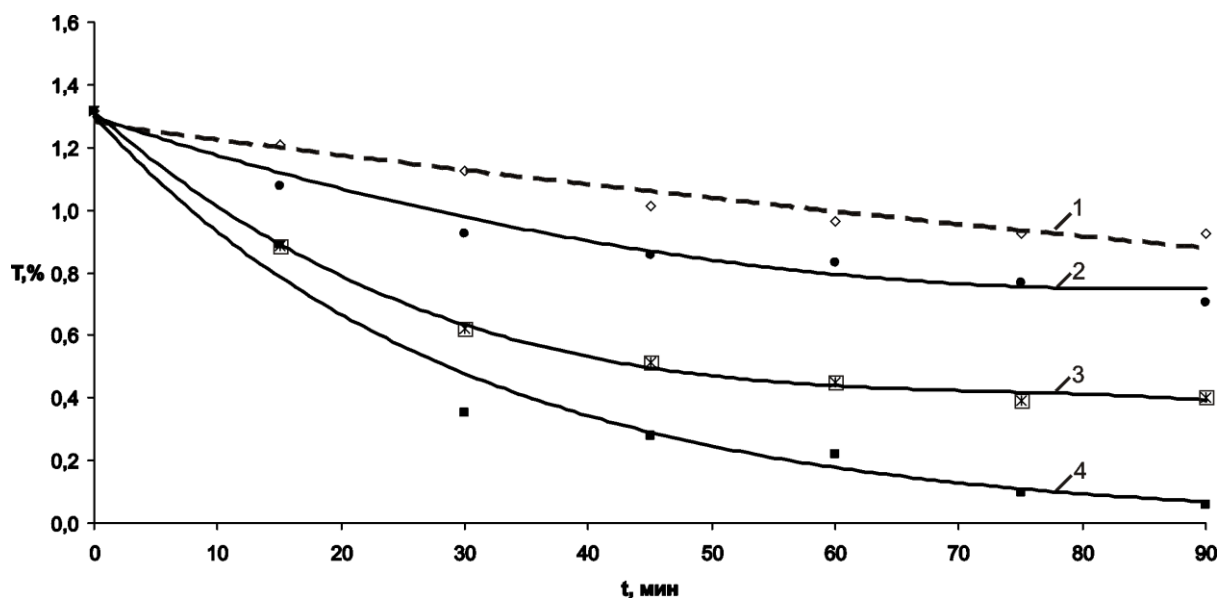


Рис. 2. Зависимости пропускания света в растворах от времени растворения в них мочевых камней:

кривая 1 – без воздействия магнитного поля, кривая 2 – частота ПМП 9 Гц, кривая 3 – частота ПМП 6 Гц, кривая 4 – частота ПМП 2 Гц

Уменьшение значений пропускания в опытных растворах во время протекания процесса растворения свидетельствует об увеличении растворяющей способности воды и о более эффективном растворении образцов органоминералов в растворах, обработанных ПМП с частотой из диапазона 2-9 Гц (рисунок 2 кривые 2-4), на фоне контрольного раствора (рисунок 2 кривая 1). Максимальное уменьшение пропускания наблюдалось при воздействии на опытный раствор ПМП с частотой 2 Гц.

При воздействии на растворы переменного магнитного поля с частотами 11 и 22 Гц (рисунок 3) значения пропускания в опытных растворах были больше, чем значения Т в контрольном растворе, что свидетельствует о меньшей растворяющей способности воды и о менее эффективном растворении образцов мочевых камней в опытных растворах относительно контроля.

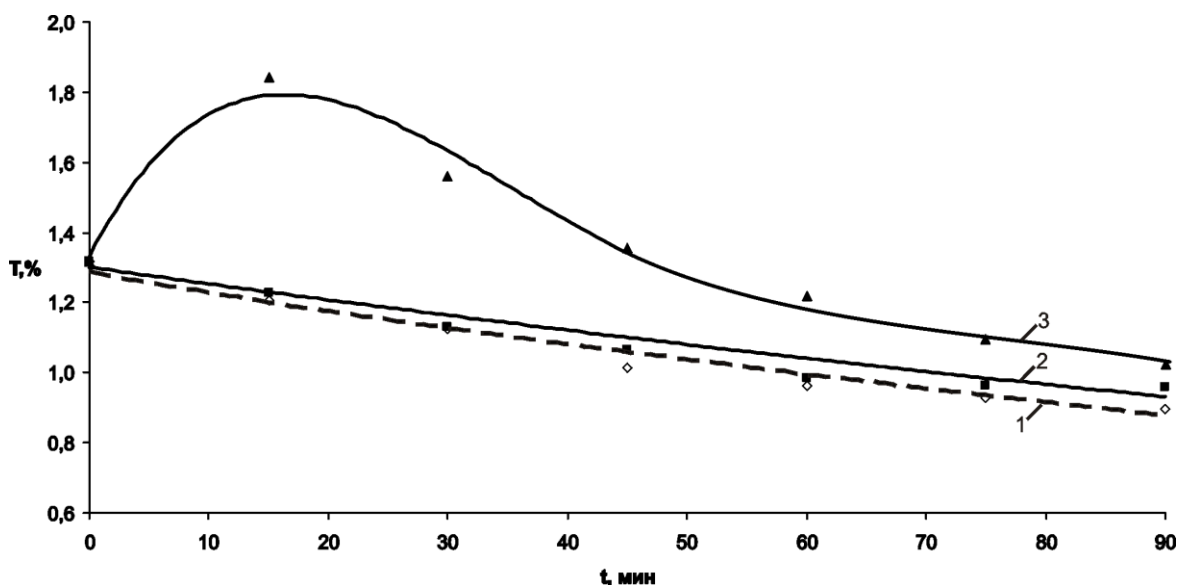


Рис. 3. Зависимости пропускания света в растворах от времени растворения в них мочевого камня: кривая 1 – без воздействия магнитного поля, кривая 2 – частота ПМП 11 Гц, кривая 3 – частота ПМП 22 Гц

Кроме того, было определено количество растворенного вещества мочевого камня весовым методом, которое в опытном растворе при воздействии на него ПМП с частотой 2 Гц составило 22%, тогда как в контрольном растворе 8.1% от исходной массы минералов.

Так как растворение мочевого камня сопровождалось выходом мочевины в состав растворителя, то представляло интерес установить степень влияния мочевины в составе водного раствора, в том числе предварительно обработанного ПМП частотой 2 Гц, на процессы растворения и разрушения органоминералов человека *in vitro*.

На основании экспериментальных результатов, максимальное значение оптической плотности в области поглощения белковой фракции органоминерала наблюдалась при концентрации мочевины 10,36 г на 100 мл воды. Для дальнейших экспериментов, которые проводились с исходно целыми органоминералами, использовалось именно такое значение концентрации мочевины в растворах.

На рисунке 4 приведены средние арифметические значения оптической плотности D растворов мочевого камня, полученной на длине волны максимума поглощения белковой компоненты камня 290-292 нм, от времени воздействия ПМП при различных способах растворения камней. Для определения количества растворенного вещества органоминерала также был проведен прямой весовой метод, результаты измерений которого приведены на рисунке 5. Количество растворенной части мочевого камня для каждого случая определяли как разницу между исходной массой органоминерала и остаточной после каждого часа растворения.

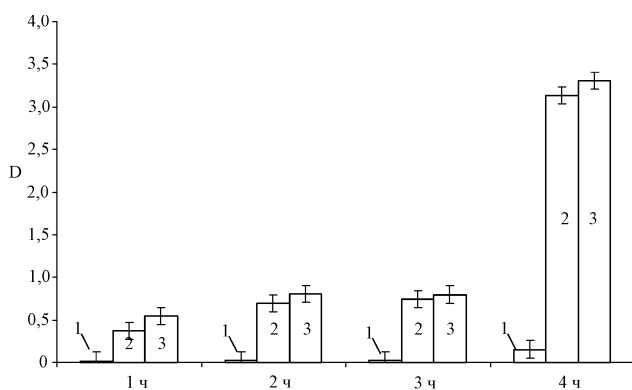


Рис. 4. Зависимость оптической плотности растворов мочевого камня от способов их приготовления и времени воздействия ПМП: 1 – дистиллированная вода с камнем; 2 – водный раствор мочевины с камнем; 3 – водный раствор мочевины с камнем + ПМП 2 Гц

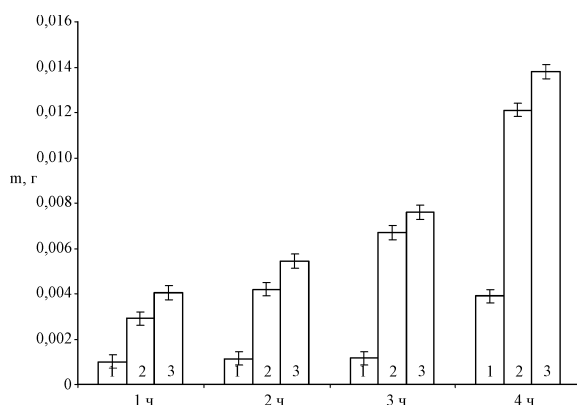


Рис. 5. Результаты определения количества растворенного вещества органоминарала при различной пробоподготовке и времени воздействия ПМП: 1 – дистиллированная вода с камнем; 2 – водный раствор мочевины с камнем; 3 – водный раствор мочевины с камнем + ПМП 2 Гц

Из результатов, представленных на рисунке 4, следует, что спустя 1 час после начала эксперимента наблюдалось достоверное увеличение оптической плотности опытных растворов мочевины с камнем (рисунок 4 столбец 2 для каждой гистограммы) и растворов мочевины с камнем, обработанных ПМП с частотой 2 Гц (рисунок 4 столбец 3 для каждой гистограммы), по сравнению с контрольным раствором мочевого камня в воде (рисунок 4 столбец 1 для каждой гистограммы).

Согласно результатам, представленным на рисунке 5, растворенная часть мочевого камня в обработанном ПМП растворе мочевины превышает значения растворенной части минерала в растворе мочевины без воздействия поля в ~1,4 раза после 1-го часа растворения, в ~1,3 раза после 2-го часа, в ~1,13 раза после 3-го часа и в ~1,14 раза после 4-го часа соответственно. В результате 4-х часового растворения органоминаралов в растворах обнаружено, что в дистиллированной воде растворилось 8,14% от исходной массы образца, в растворе мочевины без воздействия на него ПМП – 29,02%, а в растворе мочевины, обработанном ПМП частотой 2 Гц – 31,15%.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об эффективности использования растворов мочевины как отдельно, так и в совокупности с действием ПМП на эти растворы, при растворении и разрушении мочевого камня человека *in vitro*. Максимальное количество растворенной части вещества мочевого камня наблюдалось при обработке раствора мочевины с находящимся в нем мочевым камнем ПМП частотой 2 Гц в течение 4 часов.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований по влиянию переменного магнитного поля на

электрофизические параметры на СВЧ различных объектов. Получены зависимости изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь растворов соли сульфата меди (II) от частоты воздействия переменного магнитного поля, а также обнаружена взаимосвязь изменения этих параметров с изменением пропускания света в водном растворе соли CuSO_4 . Кроме того, показано влияние переменного магнитного поля на диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь на СВЧ различных видов семян растений.

Выражение для расчета частотной зависимости коэффициентов отражения электромагнитной волны для двухслойной структуры (первый слой ($N = 1$) – диэлектрическая вставка, ограничивающая исследуемую жидкость с одной стороны; второй слой ($N = 2$) – отрезок волновода, заполненный исследуемой жидкостью), может быть представлено в виде:

$$R = -\frac{T_N [2,1]}{T_N [2,2]}, \quad (1)$$

в котором $T_2 [2,1]$ и $T_2 [2,2]$ – элементы матрицы передачи T_2 двухслойной структуры определяются из соотношения

$$T_2 = \prod_{i=2}^0 T_{i(i+1)} = T(d_0 + d)T(d_0)T(0).$$

Как было ранее показано в работе [Чаплыгин Ю.А. и др. 2006.], выбрав в качестве начала отсчета поверхность диэлектрического слоя, на который падает электромагнитная волна, для $T(0)$, $T(d_0)$ и $T(d_0 + d)$ имеем соотношения:

$$T(0) = \begin{pmatrix} \frac{\gamma_\delta + \gamma_0}{2\gamma_\delta} & \frac{\gamma_\delta - \gamma_0}{2\gamma_\delta} \\ \frac{\gamma_\delta - \gamma_0}{2\gamma_\delta} & \frac{\gamma_\delta + \gamma_0}{2\gamma_\delta} \end{pmatrix},$$

$$T(d_0) = \begin{pmatrix} \frac{\gamma + \gamma_\delta}{2\gamma} e^{(\gamma - \gamma_\delta)d_0} & \frac{\gamma - \gamma_\delta}{2\gamma} e^{(\gamma + \gamma_\delta)d_0} \\ \frac{\gamma - \gamma_\delta}{2\gamma} e^{-(\gamma + \gamma_\delta)d_0} & \frac{\gamma + \gamma_\delta}{2\gamma} e^{-(\gamma - \gamma_\delta)d_0} \end{pmatrix},$$

$$T(d_0 + d) = \begin{pmatrix} \frac{\gamma_0 + \gamma}{2\gamma_0} e^{(\gamma_0 - \gamma)(d_0 + d)} & \frac{\gamma_0 - \gamma}{2\gamma_0} e^{(\gamma_0 + \gamma)(d_0 + d)} \\ \frac{\gamma_0 - \gamma}{2\gamma_0} e^{-(\gamma_0 + \gamma)(d_0 + d)} & \frac{\gamma_0 + \gamma}{2\gamma_0} e^{-(\gamma_0 - \gamma)(d_0 + d)} \end{pmatrix},$$

где d_0 – толщина диэлектрической вставки, d – толщина слоя водного раствора, $\gamma_0 = \sqrt{\frac{\pi^2}{a^2} - \omega^2 \epsilon_0 \mu_0}$ – постоянная распространения в незаполненной

части волновода, $\gamma_\delta = \sqrt{\frac{\pi^2}{a^2} - \omega^2 \varepsilon_\delta \varepsilon_0 \mu_\delta \mu_0}$ – постоянная распространения волны в диэлектрике, $\gamma = \sqrt{\frac{\pi^2}{a^2} - \omega^2 \varepsilon^* \varepsilon_0 \mu_0}$ – постоянная распространения электромагнитной волны в слое жидкости, $\varepsilon^* = \varepsilon(1 - j \operatorname{tg} \delta)$, – комплексная диэлектрическая проницаемость, ε – диэлектрическая проницаемость раствора сульфата меди (II), $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь раствора сульфата меди (II), $\varepsilon_\delta = 2,1$ – относительная диэлектрическая проницаемость фторопласта, $\mu_\delta = 1$ – относительная магнитная проницаемость фторопласта, $a = 23$ мм – размер широкой стенки волновода, ε_0 и μ_0 – диэлектрическая и магнитная постоянные, $\omega = 2\pi f$ – круговая частота электромагнитной волны.

Возможность теоретического описания зависимости R от частоты СВЧ-излучения f и измерения этой зависимости позволило решить так называемую обратную задачу, которая заключалась в определении физических характеристик исследуемого раствора сульфата меди (II). Для решения обратной задачи были измерены экспериментальные значения коэффициента отражения от частоты СВЧ-излучения $R(f)$, а затем рассчитывалась сумма квадратов разностей значений квадратов модулей экспериментально полученных коэффициентов отражения $|R_{\text{exp}_i}(f)|^2$ и теоретических $|R_{\text{theor}}(f_i, \varepsilon, \operatorname{tg} \delta)|^2$ в виде следующего функционала:

$$S(\varepsilon, \operatorname{tg} \delta) = \sum_{i=1}^n \left(|R_{\text{theor}}(f_i, \varepsilon, \operatorname{tg} \delta)|^2 - |R_{\text{exp}_i}(f)|^2 \right)^2, \quad (2)$$

где диэлектрическая проницаемость раствора ε и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ являлись искомыми параметрами обратной задачи.

Решение обратной задачи состояло в том, чтобы найти такие значения искоемых параметров, при которых функционал $S(\varepsilon, \operatorname{tg} \delta)$ будет иметь наименьшее значение. В точке минимума функционала его частные производные равны нулю, поэтому после дифференцирования $S(\varepsilon, \operatorname{tg} \delta)$ по параметрам ε и $\operatorname{tg} \delta$ и приравнивания к нулю частных производных $\frac{\partial S}{\partial \varepsilon}$ и $\frac{\partial S}{\partial \operatorname{tg} \delta}$, получаем систему двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial \varepsilon} = \frac{\partial \left(\sum_{i=1}^n \left(|R_{\text{theor}}(f_i, \varepsilon, \operatorname{tg} \delta)|^2 - |R_{\text{exp}_i}(f)|^2 \right)^2 \right)}{\partial \varepsilon} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \operatorname{tg} \delta} = \frac{\partial \left(\sum_{i=1}^n \left(|R_{\text{theor}}(f_i, \varepsilon, \operatorname{tg} \delta)|^2 - |R_{\text{exp}_i}(f)|^2 \right)^2 \right)}{\partial \operatorname{tg} \delta} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где $R_{theor}(f, \varepsilon, \operatorname{tg} \delta)$ находится из соотношения (1). Из решения системы уравнений (3) численным методом определялись искомые физические параметры ε и $\operatorname{tg} \delta$.

Эксперименты проводились на насыщенных водных растворах соли сульфата меди (II), которые готовились с использованием дистиллированной воды в объёмах по 20 мл с добавлением соли массой 6 г для поддержания в них концентрации, соответствующей насыщенному раствору в условиях термостатирования. Приготовленные водные растворы соли обрабатывались переменным магнитным полем из диапазона частот 2-22 Гц с индукцией 50 мТл в течение 1 часа.

Было обнаружено, что с ростом концентрации соли в водном растворе увеличиваются значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь данного раствора. Были получены зависимости изменения величин диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь растворов соли сульфата меди (II) от частоты воздействия переменного магнитного поля (рисунки 6 и 7).



Рис. 6. Зависимость изменения диэлектрической проницаемости раствора соли сульфата меди (II) от частоты воздействия переменного магнитного поля

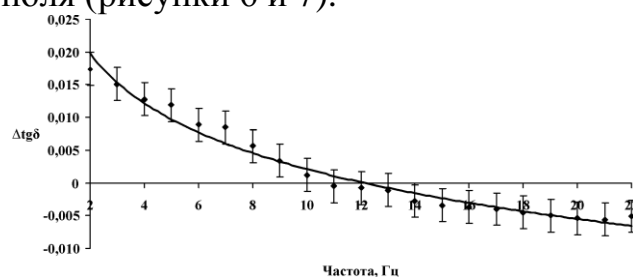


Рис. 7. Зависимость изменения тангенса угла диэлектрических потерь раствора соли сульфата меди (II) от частоты воздействия переменного магнитного поля

Из рисунка 6 видно, что в диапазоне частот магнитного поля 2-10 Гц значения диэлектрической проницаемости для опытных растворов превышали значения диэлектрической проницаемости контрольного раствора, что свидетельствовало об увеличении концентрации соли в опытных растворах. При воздействии на растворы ПМП с частотами из диапазона 11-22 Гц значения ε опытных растворов оказывались меньше контрольных. В этом случае при воздействии магнитного поля в диапазоне частот 11-22 Гц на растворы происходило уменьшение концентрации соли в опытных растворах. Максимальное изменение ε опытного раствора относительно контрольного наблюдалось при обработке водного раствора ПМП частотой около 2 Гц и составило примерно 0,24. Схожая зависимость наблюдается при изменении тангенса угла диэлектрических потерь от частоты воздействия переменного магнитного поля (рисунок 7). Так же, как и в случае изменения значений $\Delta\varepsilon$ с ростом частоты магнитного поля, происходило уменьшение абсолютного изменения величины $\operatorname{tg} \delta$ раствора соли в диапазоне частот 2-12 Гц и его последующее увеличение в диапазоне

12-22 Гц. Максимальное изменение тангенса угла диэлектрических потерь также наблюдалось при действии ПМП с частотой около 2 Гц и составило примерно 0,017.

Результаты исследований по изменению величин диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ коррелируют с результатом по исследованию влияния низкочастотного переменного магнитного поля на растворяющую способность воды. Эффект изменения растворяющей способности воды после воздействия ПМП в диапазоне частот 2-22 Гц на приготовленный раствор соли подтверждается аналогичным характером зависимостей изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь водных растворов CuSO_4 под действием ПМП. Максимальные изменения пропускания (ΔT), $\Delta \varepsilon$ и $\Delta \operatorname{tg} \delta$ наблюдались при воздействии переменного магнитного поля на частоте ~ 2 Гц, которая оказалась максимально эффективной частотой. Схожий характер зависимостей изменения значений этих величин от частоты воздействия ПМП свидетельствует о проявлении одинаковых эффектов влияния поля на водные растворы.

Также было проведено исследование влияния переменного магнитного поля на диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь на СВЧ различных видов семян растений. Эксперименты проводились на семенах кукурузы гибрид ЭСИ 8/1, кукурузы гибрид ЭСИ 29/1, нута сорт “Юбилейный”, сорго сорт “Волжское 41”, сорго сорт “Старт”, чечевицы сорт “Надежда”. В ходе экспериментов, а также в результате расчета по описанной выше методике, определялись диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь семян. Поскольку магнитное поле влияет на физические характеристики воды, входящей в состав, как сухих семян, так и замоченных перед проращиванием, то для каждого вида семян были проведены серии экспериментов по влиянию переменного магнитного поля на изменение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сухих и замоченных семян отдельно.

На рисунке 8 представлены зависимости величин диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь для семян кукурузы гибрид ЭСИ 29/1 от частоты воздействия переменного магнитного поля.

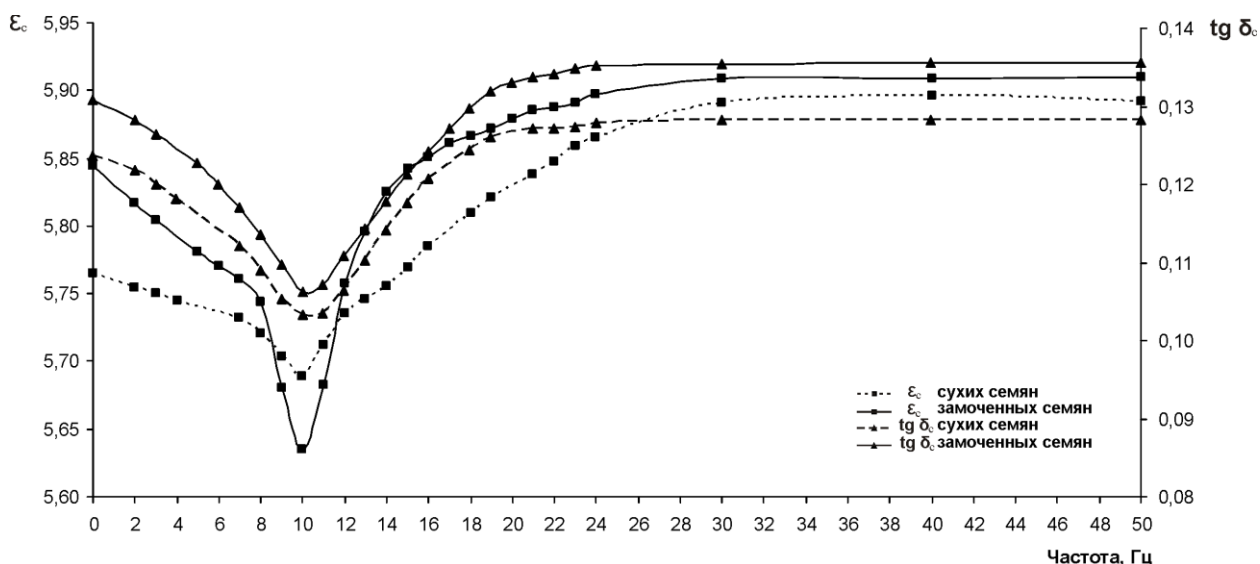


Рис. 8. Зависимости величин диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь семян кукурузы гибрид ЭСИ 29/1 от частоты воздействия переменного магнитного поля

Поскольку замоченные семена содержат в своей структуре большее количество воды, по сравнению с сухими семенами, то значения ϵ_c и $\text{tg } \delta_c$ замоченных семян изменялись сильнее по сравнению со значениями для сухих семян. Максимальные изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь для сухих и замоченных семян кукурузы гибрид ЭСИ 29/1 наблюдались при воздействии переменного магнитного поля частотой около 10 Гц. Это может свидетельствовать о стимулирующем эффекте действия магнитного поля на замоченные семена, так как согласно результатам работы [Беляченко Ю.А. 2009.], в окрестности частоты ПМП 10 Гц у семян некоторых растений наблюдалось повышение митотической активности.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Основные выводы и результаты:

1. Исследовано влияние низкочастотного переменного магнитного поля на физические характеристики воды. По результатам измерений величин пропускания и плотности водных растворов соли сульфата меди (II) от частоты воздействующего магнитного поля установлено, что в случае воздействия ПМП в диапазоне частот $\sim 11-25$ Гц на воду, служившую в дальнейшем растворителем соли, происходит увеличение растворяющих свойств воды, которое максимально при воздействии ПМП с частотой в районе 22-24 Гц. В случае обработки ПМП готового водного раствора соли данный эффект наблюдается при воздействии магнитного поля в диапазоне частот $\sim 1-10$ Гц, причем максимальные растворяющие свойства воды

наблюдались в районе 2-3 Гц. Тем самым показано, что частота ПМП выступает в качестве регулятора процесса растворения веществ в воде.

2. Исследовано влияние переменного магнитного поля на растворение органоминералов человека *in vitro*. Показано, что наибольшее растворение образца органоминерала оксалатного типа наблюдается при воздействии на водные растворы ПМП с частотой 2 Гц, и было на 14% больше, чем в контрольном растворе. Установлено, что эффективность действия ПМП на растворение органоминералов падает с ростом частоты магнитного поля. Установлено также, что эффективность растворения и разрушения патоминералов повышается, если вместо воды использовать водный раствор мочевины.

3. Показано влияние переменного магнитного поля на электрофизические параметры на СВЧ водного раствора соли сульфата меди (II). Установлено, что максимальные изменения величин диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь водных растворов соли происходят при воздействии переменного магнитного поля с частотой ~ 2 Гц. Обнаружено, что полученный эффект действия магнитного поля коррелирует с наблюдающимся изменением растворяющей способности воды.

4. Установлено влияние переменного магнитного поля на физические параметры на СВЧ различных видов семян. Максимальные изменения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь как для сухих, так и для замоченных семян, происходят в большинстве случаев при воздействии на них переменного магнитного поля в окрестности частоты 10 Гц. Кроме того, установлено, что для замоченных семян происходят более интенсивные изменения значений ϵ_c и $\text{tg}\delta_c$ под действием переменного магнитного поля, чем для сухих семян, что может свидетельствовать о повышении митотической активности у замоченных семян.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

Статьи в журналах, входящих в перечень ВАК

1. *Усанов А.Д., Ребров В.Г., Верхов Д.Г.* Влияние переменного низкочастотного магнитного поля на растворяющую способность воды // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. №2. С. 55-58.
2. *Попков В.М., Усанов Д.А., Усанов А.Д., Ребров В.Г., Верхов Д.Г., Буланов В.М.* Влияние низкочастотного магнитного поля на растворимость органоминералов человека оксалатного типа в воде *in vitro* // Саратовский научно-медицинский журнал. 2012. Т.8, №3. С. 831-834.
3. *Попков В.М., Усанов Д.А., Усанов А.Д., Ребров В.Г., Верхов Д.Г.* Влияние переменного магнитного поля на растворимость органоминералов человека в водных растворах мочевины *in vitro* // Экспериментальная и клиническая урология. 2013. №3. С. 18-20.
4. *Усанов А.Д., Постельга А.Э., Верхов Д.Г., Тырнов В.С.* Влияние переменного магнитного поля на физические параметры различных видов семян на СВЧ // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. №8. С.

41-51.

5. *Усанов А.Д., Постельга А.Э., Верхов Д.Г., Ребров В.Г.* Влияние переменного магнитного поля на электрофизические параметры водного раствора соли сульфата меди (II) // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. №3. С. 61-66.

Тезисы докладов на конференциях

6. *Попков В.М., Усанов Д.А., Ребров В.Г., Усанов А.Д., Верхов Д.Г.* Влияние низкочастотного магнитного поля на растворимость органоминералов человека в воде *in vitro* // Материалы научно-практической всероссийской конференции (школы-семинара) молодых ученых. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. С. 155-159.
7. *Попков В.М., Усанов Д.А., Усанов А.Д., Ребров В.Г., Верхов Д.Г.* Влияние низкоинтенсивного переменного магнитного поля на растворимость органоминералов человека в водных растворах мочевины *in vitro* // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2013. Материалы ежегодной Всероссийской научной школы-семинара. 6-8 ноября 2013 г. / Под ред. проф. Д.А.Усанова. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. С. 140-143. ISBN 978-5-292-04208-2
8. *Усанов А.Д., Постельга А.Э., Верхов Д.Г., Тырнов В.С.* Влияние переменного магнитного поля на диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь различных видов семян на СВЧ // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2013. Материалы ежегодной Всероссийской научной школы-семинара. 6-8 ноября 2013 г. / Под ред. проф. Д.А.Усанова. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. С. 151-155. ISBN 978-5-292-04208-2
9. *Усанов А.Д., Ребров В.Г., Верхов Д.Г.* Увеличение растворимости органоминералов из организма человека *in vitro* в водных растворах мочевины, предварительно обработанных переменным магнитным полем // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: материалы Всерос. научной школы-семинара / под ред. проф. Д.А. Усанова. - Саратов: изд-во Саратовский источник, 2014. С. 178-182. ISBN 978-5-91879-422-7
10. *Попков В.М., Усанов А.Д., Ребров В.Г., Верхов Д.Г., Усанов Д.А.* Влияние переменного магнитного поля на растворимость мочевых камней человека в водных растворах мочевины и полиэтиленгликоля *in vitro* // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2015: материалы Всерос. молодеж. конф. / под ред. проф. Д.А.Усанова. – Саратов: Изд-во Саратовский источник, 2015. С. 54-58. ISBN 978-5-91879-541
11. *Усанов А.Д., Постельга А.Э., Верхов Д.Г.* Влияние переменного магнитного поля на изменение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь водного раствора соли сульфата меди (II) // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и

- наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: материалы Всерос. научной школы-семинара / под ред. проф. Д.А. Усанова. - Саратов: изд-во Саратовский источник, 2015. С. 122-125. ISBN 978-5-91879-501-9
12. *Усанов А.Д., Постельга А.Э., Верхов Д.Г., Тырнов В.С.* Изменение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь различных видов семян на СВЧ при воздействии переменного магнитного поля // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии. Сборник материалов Всероссийской молодежной научной конференции. 20-22 мая 2013 г. - Саратов: ООО «Издательство Научная книга», 2013. С. 72-79. ISBN 978-5-9758-1489-0
 13. *Верхов Д.Г.* Исследование влияния действия переменного магнитного поля низкой интенсивности на рН воды // Биосовместимые материалы и покрытия. Сборник материалов Всероссийского конкурса научных работ бакалавров и магистрантов, проводимого в рамках реализации Федеральной целевой программы “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009-2013 годы. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2010. С. 242. ISBN 978-5-7433-2339-5