

Изменение физических параметров воды, подвергнутой плазменной обработке

Валерий Терешко,

ведущий научный сотрудник
Объединенного института проблем
информатики НАН Беларуси,
кандидат физико-
математических наук

Всеволод Редько,

профессор кафедры
«Физические методы контроля»
Белорусско-российского
университета,
член-корреспондент

Ирина Терешко,

доцент кафедры «Физика»
Белорусско-российского
университета, кандидат
физико-математических наук

Аннотация. В статье представлены результаты исследования некоторых физических свойств воды, активированной с помощью низкотемпературной плазмы тлеющего разряда. Для физического анализа был применен метод диэлькометрии. На его основе измеряли диэлектрическую проницаемость, величину тангенса угла диэлектрических потерь, электроемкость и электропроводимость воды. Получен важный вывод об увеличении внутренней энергии воды и изменении ее фазового состояния после плазменной обработки. Таким образом, показана возможность управления свойствами жидкофазных систем, в частности воды, с помощью физических воздействий.

Ключевые слова: плазма тлеющего разряда, вода, модификация среды, электромагнитные поля, добавочная энергия, биологическая активность воды.

В се живое постоянно подвергается воздействию природных физических факторов, в том числе естественного электромагнитного фона, который зачастую оказывает влияние и на воду. Поскольку организм человека на две трети состоит из воды, то он, естественно, является частью общей системы электромагнитных взаимодействий. В связи с этим актуализируется проблема антропоморфного электромагнитного загрязнения среды и его преодоления, а также использования тех же самых факторов во благо человека в медицинских целях.

Сейчас в биологии и медицине широко применяются различные

плазменные технологии, которые позволяют проводить терапевтические мероприятия и обработку биоматериалов при умеренных температурах. Новая волна интереса к холодным плазмам в здравоохранении привела к формированию и нового поля деятельности под названием «плазменная медицина» [1–3]. Особенность генерирования холодных плазм в том, что для получения энергизованных электронов используется электрическая энергия без нагревания газовой среды. Частицы, поля и излучение плазмы являются источниками энергии, которые продуцируют химические реакции как внутри плазмы, так и на поверхности раздела сред [4, 5]. Выбор соответствующих рабочих условий (обработка газа, подвод энергии, геометрия реактора) позволяет использовать плазму с разными характеристиками в различных технологических процессах и биомедицинских процедурах.

Модификация среды под воздействием плазмы тлеющего разряда

В настоящее время разработаны ряд методов и соответствующая аппаратура, позволяющие изменять физико-химические свойства жидкофазных сред, и в первую очередь воды. Однако, ставя перед собой задачу по модификации ее свойств, необходимо учитывать, что в естественных условиях состояние воды изменяется преимущественно при малоинтенсивном воздействии. Более того, последнее не ограничивается водными средами и биологическими системами – оно гораздо шире.

Эксперименты показывают глубокую структурную перестройку твердых материалов

при поверхностном воздействии на них низкоэнергетической плазмой тлеющего разряда (ПТР), которая является разновидностью холодной плазмы [6, 7]. Было установлено, что такая низкоэнергетическая обработка образцов различных металлов и сплавов в вакууме в потоке остаточных ионов с энергиями порядка 0,5–5,0 КэВ приводит фактически к объемной модификации материалов – вплоть до глубины 10 мм от облученной поверхности. Структура металлов и сплавов, облученных в ПТР, становится аналогичной структуре глубоко деформированных образцов, хотя в процессе облучения материалы не испытывали ни механических, ни существенных термических нагрузок. Напомним, что такая эффективная модификация материалов невозможна даже при воздействии очень высокой энергией бомбардирующих частиц порядка нескольких МэВ, при котором глубина модифицированного слоя достигает 100 мкм.

Исходя из новых физических представлений о воде как о гетерофазной ион-кристаллической системе, под термином «модификация» («активация») сейчас предлагается понимать «процесс изменения структурно-физических, энергетических и магнетно-электрических свойств гетерофаз связанного состояния вещества в составе жидкофазных систем, включая воду, водные растворы, жидкие кристаллы, аморфные материалы, полимеры и металлы под действием физических полей» [8, 9]. Модификация может приводить к образованию относительно устойчивых внутренних напряжений во всей жидкости, что проявляется в увеличении внутренней энергии воды,

изменении ее фазового состояния и диэлектрических свойств.

Активированное, или неравновесное, состояние гетерофаз жидкофазных систем, включая воду, определяется степенью отклонения некоторых параметров (водородного показателя, окислительно-восстановительного потенциала, диэлектрических параметров и др.) от их равновесных значений.

Таким образом, под управлением свойствами жидкофазных систем, в том числе воды, понимается регулируемое преобразование их физико-химических свойств за счет изменения соотношения между фазами и объемной структурно-физической перестройки (активации) под действием внешних полей.

Изменение электрофизических параметров воды под воздействием плазмы тлеющего разряда

Учитывая структурные свойства воды и тот факт, что она восприимчива к воздействию внешних факторов различной природы (физических, химических, биологических), в качестве рабочей гипотезы было взято предположение, что можно контролировать состояние воды и водных систем, измеряя их электрофизические параметры.

Например, электропроводимость воды определяется концентрацией носителей заряда, образующихся при диссоциации воды и естественных процессах переноса заряда в связанные состояния жидкости через образование активных форм кислорода (ион-радикалов). Однако в нормальных условиях (без потенцирования или воздействия квазистатических электрических и магнитных

полей) этот процесс при отсутствии примесей с малым потенциалом ионизации блокируется высокими активационными барьерами. В нашем же случае как раз происходит воздействие на воду электромагнитных полей, генерированных ПТР в камере плазмогенератора.

Физический анализ был проведен с помощью диэлектromетрии – совокупности методов количественного определения веществ и изучения их молекулярной структуры, основанных на изменении диэлектрической проницаемости и величины тангенса угла диэлектрических потерь, $\operatorname{tg} \delta$ [11]. В наших исследованиях использовался созданный в Белорусско-российском университете сканирующий емкостный преобразователь для неразрушающего контроля параметров диэлектриков в жидком и парообразном состоянии в диэлектрических сосудах, в частности в стеклянных ампулах с дистиллированной водой и некоторыми водными растворами жидкостей медицинского назначения [12].

Ампулы были запаяны, что позволило, исключив влияние внешних атмосферных условий на их содержимое, проводить многократные измерения на одних и тех же объектах. Отсчет расстояния в миллиметрах велся от дна ампулы. Электроемкость (C) измерялась в пикофарадах (пФ), электропроводимость (σ) – в микросименсах (мкСм). Результаты измерений $\operatorname{tg} \delta$ сверялись с расчетными, получаемыми по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sigma}{2\pi f C},$$

где f – частота измеряемого напряжения, подаваемого на электроды, C – емкость, σ – электропроводность.

Относительная погрешность измерений $\operatorname{tg} \delta$, C и σ определялась погрешностью измерительного прибора (относительная погрешность определения 0,1–2%).

При неразрушающем контроле ампул способом сканирования измеряются электрофизические параметры не самой воды или водных растворов, а системы «вода – ампула». Во время исследования выделялись две области: область жидкой фазы воды и область паров воды над мениском.

Как отмечалось, переструктуризация молекул и кластеров воды происходит в результате различных внешних воздействий, в том числе при встряхивании ампул. В более разреженных средах,

например в парах воды, этот процесс происходит очень активно, что объясняется резким отличием дипольных моментов молекул воды в жидкости и парах. И это, вероятно, является ключевым моментом аномальных свойств воды, связанных с изменчивостью состояния водородных связей во внешних полях.

Первые измерения $\operatorname{tg} \delta$, C и σ в области паров воды над мениском показали, что эти параметры чувствительны даже к небольшим встряхиваниям ампул в отличие от области жидкой фазы. Поэтому методика измерений включала:

- *отстаивание ампул в течение определенного времени в состоянии покоя;*

- *измерение $\operatorname{tg} \delta$, C и σ в состоянии покоя;*

- *встряхивание ампул и последующее измерение этих же параметров;*

- *повторение всех процедур с ампулами после их обработки ПТР.*

Режим обработки воды для физического анализа был тот же, что и для биологических исследований [19].

Результаты измерений отражены на рисунке. Примечательно, что вблизи дна ампул и над мениском $\operatorname{tg} \delta$ и σ имеют самые низкие значения, а электроемкость, наоборот, самые высокие значения. Это связано с процессом испарения воды внутри ампулы. Практический интерес представляет сравнительное исследование динамики электропроводности, электроемкости и тангенса угла диэлектрических потерь воды до и после плазменной обработки.

Из сравнения результатов электрофизических измерений после сканирования ампул до и после обработки ПТР (варианты А и Б соответственно) видно, что электроемкость C системы, которая определяется нейтральными молекулами, остается практически неизменной. Изменения связаны с параметрами электропроводности σ и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$, которые отражают динамику концентрации ионов. Как известно, в жидкой среде для проводимости тока необходимы его носители: положительные и отрицательные ионы. Повышение значений электропроводности после обработки воды ПТР означает либо увеличение таких носителей за счет электролитической диссоциации, когда молекула воды распадается на ион водорода H^+ и гидроксильную группу OH^- , либо за счет понижения

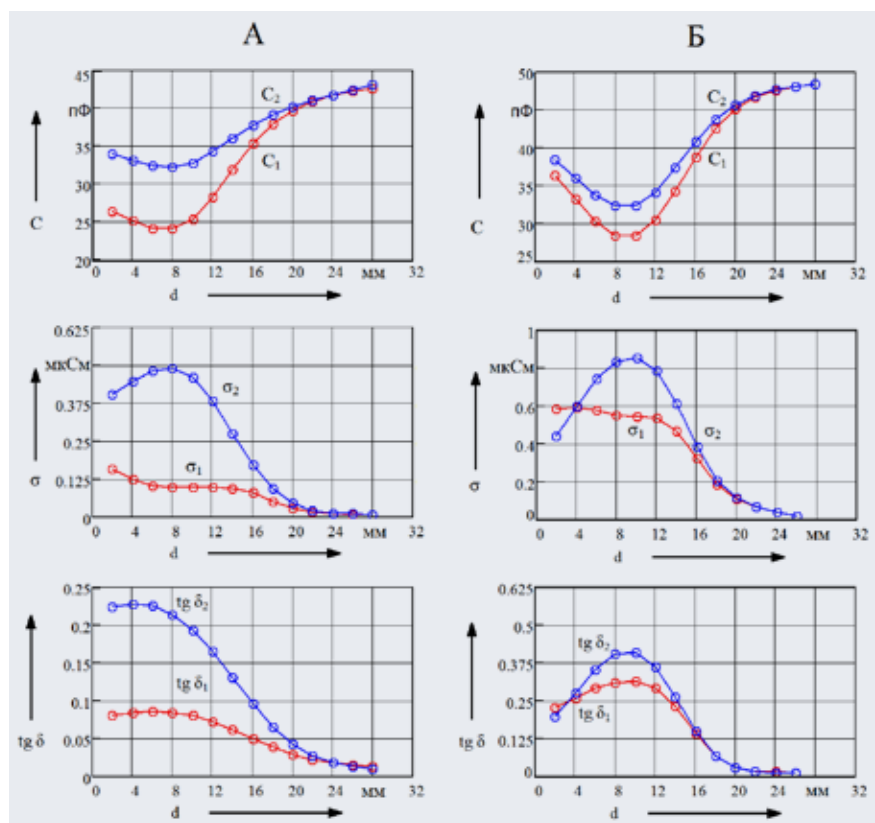


Рисунок. Результаты измерений электроемкости C , электропроводности σ и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$, полученные при сканировании ампулы с водой до и после обработки ПТР (варианты А и Б соответственно). Сканирование ампулы производилось до и после встряхивания (красная и синяя кривая соответственно), d – расстояние от дна ампулы до измерительных электродов (при шаге сканирования 2 мм).

активационных барьеров образования ион-радикалов. В любом случае данные процессы инициированы ПТР.

По нашему мнению, плазменное воздействие первоначально приводит к возбуждению молекул воды и, следовательно, к повышению ее внутренней энергии. Далее свойства системы будут определяться эволюцией этой добавочной энергии внутри системы. Если скорость ее диссипации будет высока, мы получим короткоживущее возбужденное состояние системы, которое не представляет большого интереса: после прекращения внешнего воздействия система быстро возвратится в свое исходное энергетическое состояние. Намного больший интерес представляет долгоживущее возбужденное состояние системы. Его можно достичь двумя способами. Первый определяется медленной релаксацией системы к устойчивому (невозбужденному) состоянию, вызванной перестройкой межатомного потенциала взаимодействия, инициированной внешним воздействием. Второй определяется длительной перекачкой и медленной диссипацией полученной добавочной энергии тоже в результате внешнего воздействия. Теоретически возможен и третий случай: система, благодаря запасенной и перераспределенной энергии, не возвращается в первоначальное состояние, отвечающее глобальному энергетическому минимуму, а релаксирует к локальному минимуму ее внутренней энергии. Описанные сценарии возможны только в нелинейных системах. Заметим, что потенциалы взаимодействия нейтральных (неполярных) атомов или молекул, применяемых в молекулярной

динамике, например потенциалы Леннарда–Джонса или Морзе, являются нелинейными. Результаты компьютерного моделирования нелинейных атомных цепочек, подверженных внешнему воздействию, подтверждают вышесказанное [13–18].

Важно отметить, что и локальные минимумы энергетического потенциала, и долгоживущие возбужденные состояния отвечают более высокому энергетическому уровню системы. Именно такую «высокоэнергетичную» воду мы называем активированной водой. Предполагается, что в ней резко увеличивается доля структурированной воды [8, 9].

Анализ сообщений, посвященных исследованию физико-химических процессов в воде после левой обработки, показывает, что не только ее структурное, но и зарядовое состояние подвержено динамическим изменениям. В воде, как жидком диэлектрике, образование дополнительных зарядов возможно не только вследствие внутренних процессов, характерных для жидкости, например диссоциации, но и путем внесения избыточных зарядов (электронов) извне [10]. Второй тип генерации зарядов может происходить

в том числе при эмиссии электронов с катода, что и имеет место в камере плазмотрона при генерации ПТР. Для воды эти процессы определяются прежде всего ее структурированной фазой и способностью последней принимать или отдавать электроны под воздействием внешних полей. Подобные свойства, очевидно, и приводят к изменениям биологической активности воды, так как многие процессы клеточного метаболизма связаны с транспортом электронов. Учитывая резонансный характер взаимодействий в системе «клетка–вода–внешняя среда», становится понятным, что даже незначительные изменения в состоянии воды способны вызвать резкий отклик со стороны биологической составляющей системы.

Ранее при исследовании нами свойств ПТР был обнаружен биотропный эффект ее излучений и признаки того, что он опосредован водой [9, 10, 19]. Опираясь на эти данные, мы допускаем, что даже малоинтенсивная физическая обработка воды может вызвать стойкое изменение ее структурного и физико-химического состояния, которое способно отразиться и на ее биологической активности. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Laroussi M., Fridman A. *Plasma Medicine // Plasma Process. Polym.* 2008. Vol. 5. P. 501–502.
2. Fridman G., Friedman G., Gutsol A., Shekhter A. B., Vasilets V. N., Fridman A. *Applied plasma medicine // Plasma Process. Polym.* 2008. Vol. 5. P. 503–533.
3. Терешко И., Марков П., Толстая Е., Горчаков Т., Терешко В., Редько В. Низкотемпературная плазма в биомедицине // Наука и инновации. 2015. №10. С. 65–71.
4. Hippler R., Kersten H., Schmidt M., Schoenbach K. H. *Low Temperature Plasmas: Fundamentals, Technologies, and Techniques.* – Wiley-VCH, 2008.
5. Perucca M. *Introduction to Plasma and Plasma Technology // Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces.* – Wiley-VCH, 2010. P. 1–32.
6. Abidzina V., Tereshko I., Elkin I., Budak S., Muntele C., Ila D. *Metallic nanoparticle evolution by low energy ion irradiation in glow discharge plasma // Proceedings of XXVII International Conference on Phenomena in Ionized Gases.* – Prague, 2007. P. 753–756.
7. Tereshko V., Gorchakov A., Tereshko I., Abidzina V., Red'ko V. *Biomedical Applications of Materials Processed in Glow Discharge Plasma // Advances in Biomaterials Science and Biomedical Applications – InTech,* 2013. P. 3–21.
8. Стехин А. А., Яковлева Г. В. Структурированная вода. Нелинейные эффекты. – М., 2008.
9. Вода – космическое явление: кооперативные свойства и биологическая активность / ред. Ю. А. Рахманин, В. К. Кондратов. – М., 2002.
10. Афромеев В. И., Хадарцев А. А., Яшин А. А. Биофизика полей и излучений и биоинформатика. Ч. III: Основы физико-биологической и технической реализации управляющих воздействий высокочастотными электромагнитными полями в медицине. – ТулГУ, 1999.

Полный список использованных источников размещен на сайте

 <http://innosfera.by/2019/08/plasma>