

ЕВГЕНИЙ АНДРИЯНОВИЧ ТИХОНОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*tihonov@psu.karelia.ru*

АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ ТИХОМИРОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*sansa.82@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОТНОСТИ ВОДНОГО РАСТВОРА ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ ПЛАЗМОЙ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ\*

Одним из перспективных направлений повышения эффективности сельскохозяйственной деятельности является внедрение инновационных технологий, находящихся на стыке наук. Так, в физике широко известны технологии и методы получения переохлажденной плазмы, которая применяется в различных отраслях промышленности. Известны обеззаражающие и катализирующие свойства плазмы. Переохлажденная плазма обладает огромным потенциалом для применения ее в сельском хозяйстве при условии глубоко проработанных технологий использования. В статье представлены предварительные исследования, подтверждающие изменение кислотности водных растворов при обработке их переохлажденной плазмой, а также исследования, выполненные в области электрохимической обработки водных растворов. Даётся постановка эксперимента, описываются применяемые методы и оборудование. Экспериментальные данные показали повышение кислотности водных растворов от pH 6,93 до pH 6,51 при различных параметрах обработки (контроль pH 7,6). Выяснено, что средняя мощность обработки оказывает значимое влияние на кислотность, тогда как начальное напряжение пробоя – нет. Определено, что данные факторы не оказывают влияния на скорость изменения кислотности во времени.

Ключевые слова: переохлажденная плазма, прикладные исследования, кислотность, вода, экспериментальные исследования

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко известны методы повышения посевных качеств сельскохозяйственных культур, основанные на электрохимической активации воды [1], [2], [3]. При такой обработке получают либо анолит, либо католит. Данные водные растворы имеют весьма широкий диапазон кислотности (от pH 3 до pH 10). Для их получения применяют электрохимические реакторы [4], [5]. Принцип работы данных устройств – электролиз воды с получением растворов с различной кислотностью. Как правило, электрохимический реактор состоит из двух камер (анодной или катодной), в этих камерах воду подвергают обработке и за счет преобразования содержащихся в ней растворенных веществ превращают в высокоактивный раствор кислот и окислителей или щелочей и восстановителей [6].

Существуют и другие способы изменения свойств воды для применения ее в сельском хозяйстве. Одним из таких методов является обработка воды переохлажденной плазмой. Переохлажденная плазма – это плазма с температурой видимой части факела 40...42 °C [7]. Подобные температуры позволяют применять этот тип

плазмы к живым системам. Например, получены положительные результаты в медицине [8], рыбоводстве [9], растениеводстве [10].

При обработке воды различными типами разрядов: коронным, скользящим и тлеющим [11] – наблюдается подкисление водного раствора. Существует несколько версий причин данного явления: образование оксидов азота в зоне плазмы с их последующим растворением и естественным подкислением раствора [12], образование синглетного кислорода в плазме с дальнейшим растворением в жидкой фазе, неравновесный перенос компонентов раствора в газовую фазу, накопление перекисных и надперекисных соединений [2]. В нашей работе получены количественные оценки изменения кислотности водного раствора при обработке переохлажденной плазмой различных параметров, а также динамическое изменение данного показателя во времени.

### МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для определения кислотности растворов применяют водородный показатель pH. Существует несколько методов его определения: кислотно-щелочная индикация, универсальная

индикация, ионометрический и аналитический объемный методы. Для определения pH водного раствора нами был применен ионометрический метод с использованием pH-метра Аквилон pH-410. Абсолютная погрешность данного прибора при определении pH составляет 0,01.

В проведенных исследованиях использовалась экспериментальная установка генерации переохлажденной плазмы, разработанная авторами. На установку подана заявка на патент и получено положительное решение о выдаче (№ 202013110894/07 (016160)). Данная установка представляет собой сложную высоковольтную электрическую машину, которая позволяет генерировать плазменный разряд в проточной воде.

Установка имеет ряд варьируемых параметров, которые позволяют получать разряд различной интенсивности. В данном случае был поставлен двухфакторный эксперимент, в котором регулировались средняя мощность обработки и начальное напряжение пробоя. Такие показатели, как межэлектродное расстояние и расход воды, оставались неизменными и составили 6 мм и 1,14 л/мин соответственно. Мощность самой установки – 2 кВт. Обработанные образцы анализировались в течение 48 часов, интервал измерения 0,5 ч.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования показали, что изменение выбранных факторов оказывает значительное влияние на кислотность исследуемого водного раствора. Начальная кислотность образцов представлена в табл. 1. Контрольное значение кислотности водного раствора – pH 7,6.

Для анализа результатов сгруппируем их по факторам (рис. 1).

Как видно из рис. 1, фактор В оказывает куда более значимое влияние на кислотность водного раствора. При этом фактор А оказывает значительное влияние на получение разряда в разрядной камере. Чем меньше данный фактор, тем сложнее инициировать разряд. Таким образом, для регулировки интенсивности обработки вод-

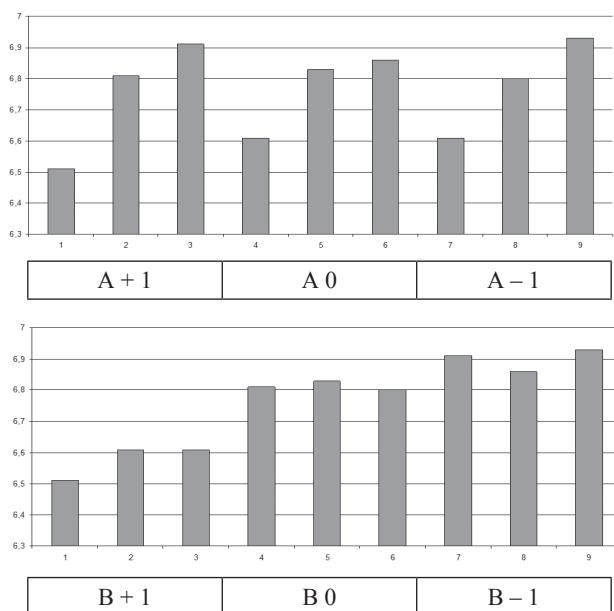


Рис. 1. Группировка результатов по факторам

ных растворов переохлажденной плазмой достаточно изменять среднюю мощность обработки, а начальное напряжение пробоя использовать для создания наилучших условий инициации разряда в разрядной камере.

Так как при любой электрохимической обработке раствор выходит из равновесного состояния, то после прекращения подвода энергии он стремится вернуться к состоянию наименьшей энтропии. Поэтому необходимо определить продолжительность времени, в течение которого обработанный водный раствор будет сохранять свойства, отличные от необработанного раствора. Для получения данной информации мы исследовали изменение кислотности варианта A + 1 B + 1 в течение 96 часов. График изменения представлен на рис. 2.

Анализ зависимости выявил некоторые особенности. На графике отчетливо видны пики увеличения кислотности. При этом они повторяются ровно через 24 часа, постепенно смещаясь на более раннее время. Как показал анализ процесса захвата данных pH-метра, в момент увеличения кислотности на колбу с раствором попадали прямые солнечные лучи, лишенные ультрафиолетовой части спектра (предварительно прошедшие

Таблица 1  
Значения начальной кислотности  
исследуемых образцов

Фактор А (на- чальное напря- жение пробоя воды, кВ)	Фактор В (сред- няя мощность обработки воды, кВА)	pH	Абсолютная погрешность
40	1600	6,51	0,01
	800	6,81	
	0,4	6,91	
26	1600	6,61	0,01
	800	6,83	
	0,4	6,86	
12	1600	6,61	0,01
	800	6,8	
	0,4	6,93	

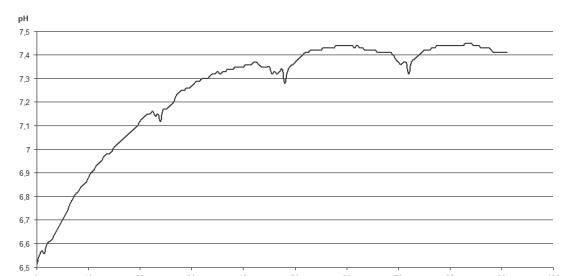


Рис. 2. Изменение кислотности образца A + 1 B + 1

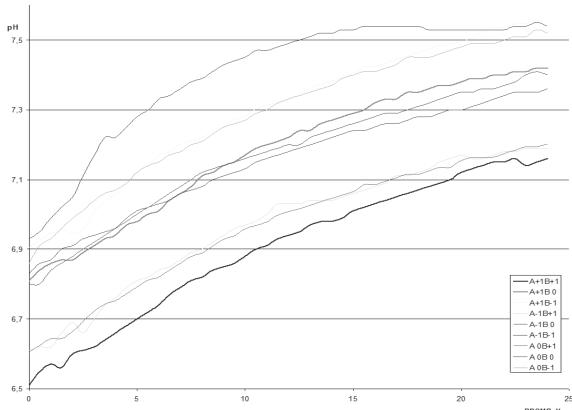


Рис. 3. Изменение кислотности образцов в течение 24 часов

через стекло). Данное обстоятельство говорит о том, что при обработке растений в полевых условиях возможно влияние погоды на результат обработки. В дальнейшем измерения проводились с использованием непрозрачных емкостей.

Технология применения воды, обработанной холодной плазмой, подразумевает минимизацию периода времени между обработкой воды и ее применением. Приведем графики изменения кислотности всех образцов в течение первых 24 часов (рис. 3).

Как видно из графиков, скорость изменения кислотности отличается незначительно. Так как зависимости близки к линейным, выполним линейную аппроксимацию. Результаты аппроксимации представлены в табл. 2. Как выяснилось, существенного влияния на скорость изменения кислотности режимы обработки не оказывают.

Таким образом, для управления уровнем кислотности обрабатываемого водного раствора следует использовать среднюю мощность обработки (фактор B). При этом начальное напряжение пробоя (фактор A) использовать для устойчивой инициации и стабилизации разряда в разрядной камере.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В 2012 и 2013 годах в ПетрГУ были выполнены исследования по выявлению влияния воды,

\* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

Таблица 2  
Результаты аппроксимации

Образец	pH (t)	pH' (t)	Достоверность, R <sup>2</sup>
A + 1 B + 1	0,0274t + 6,5724	0,0274	0,9741
A 0 B + 1	0,0248t + 6,667	0,0248	0,9647
A - 1 B + 1	0,0274t + 6,6739	0,0247	0,9500
A + 1 B 0	0,0263t + 6,8647	0,0263	0,9654
A 0 B 0	0,0213t + 6,8929	0,0213	0,9722
A - 1 B 0	0,0242t + 6,8756	0,0242	0,9594
A + 1 B - 1	0,0274t + 6,9647	0,0274	0,9628
A 0 B - 1	0,0258t + 6,9764	0,0258	0,9543
A - 1 B - 1	0,0221t + 7,1371	0,0221	0,7614

обработанной переохлажденной плазмой, на посевной материал и меристемные растения картофеля [7]. Урожайность и интенсивность роста образцов удалось увеличить на 13 % и 43 % соответственно. Для понимания причин подобных эффектов необходимо выяснить изменения, происходящие с водным раствором при обработке переохлажденной плазмой. Первый признак подобных изменений – изменение кислотности. Изменение кислотности водного раствора является лишь индикатором того, что в нем произошли химико-структурные изменения, и не является самоцелью. Данный факт подтверждает наличие влияния обработки переохлажденной плазмой на водный раствор. Также удалось определить, какие параметры генерации переохлажденной плазмы оказывают значимое влияние на первичную кислотность (средняя мощность обработки), а какие – нет (начальное напряжение пробоя). В процессе исследования изменения кислотности во времени было выяснено, что параметры обработки не влияют на скорость изменения кислотности. Для того чтобы выяснить, какие именно изменения произошли, необходимо выполнить ряд исследований, направленных прежде всего на определение наличия в водном растворе различных химических соединений, которые могут оказывать непосредственное влияние на живые системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абезин В. Г., Карпунин В. В. Система капельного орошения с модулем электроактивации оросительной системы // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 6. С. 23–25.
2. Кравченко А. В., Берлизорова С. А., Нестеренко А. Ф., Кублановский В. С. Об изменении свойств воды, подвергшейся низкотемпературному плазменному электролизу // Химия высоких энергий. 2004. Т. 38. № 5. С. 375–379.
3. Лагутин В. В. Совершенствование технологий и технических средств возделывания овощных культур с использованием активированной воды: Автoref. дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2002. 25 с.
4. Патент на полезную модель RU 2370451 С2, МПК C02F1/461. Реактор для электрохимической обработки жидкости. Футрик С. Н., Демин П. К.
5. Патент на полезную модель RU 2475456 С2, МПК C02F1/461. Установка для электролиза водно-солевых растворов. Белозеров А. В., Турников М. Н.
6. Писаренко Л. В. Применение плазменных потоков и жизнеспособных кожных аллотрансплантатов в комплексном лечении ран: Автoref. дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2008. 22 с.
7. Тихонов Е. А. Исследование влияния обработки посадочного материала картофеля водой, обработанной переохлажденной плазмой, на интенсивность роста и урожайность // Политематический сетевой электронный научный

- журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар: КубГАУ, 2013. № 85 (01). С. 325–335 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/01/pdf/25.pdf>
8. Ткачев А. Н., Яковенко С. И. Предельно неидеальная метастабильная переохлажденная плазма // Журнал технической физики. 1997. Т. 67. № 8. С. 42–53.
  9. Трошенкова С. А., Хлюстова А. В., Максимов А. И. Влияние тлеющего разряда с электролитным катодом на свойства раствора // Сборник материалов III Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии. Иваново, 2002. Т. 1. С. 352–354.
  10. Харченко О. В. Влияние электрохимически активированной воды на посевые качества семян зерновых и бобовых культур и продуктивность ярового ячменя на светло-каштановых почвах Волгоградской области: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2008. 22 с.
  11. Хлюстова А. В. Процессы переноса компонентов раствора I–I электролитов в системе плазма-раствор: Автореф. дисс. ... канд. хим. наук. Иваново, 2004. 24 с.
  12. Храпенков С. Н., Гернет М. В., Бахир В. М. Воздействие электрохимически активированных систем на ферменты солода // Пиво и напитки. 2002. № 5. С. 20–21.

Tikhonov E. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
Tikhomirov A. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

## WATER SOLUTION ACIDITY CHANGE CAUSED BY COLD PLASMA TREATMENT

An agroindustrial complex and agriculture as a whole play a strategically significant role for national food security of any country. Introduction of innovative technologies combining achievements of several branches of human knowledge could lead to agro production efficiency increase. In particular, cold plasma production technology, which is widely used in various industries, can be successfully applied by industries dealing with living systems. Aseptic and catalytic properties of such plasma are well-known. Cold plasma has an enormous potential if properly and efficiently applied in agriculture. This article describes the investigations confirming the fact that the acidity of water solutions changes when it is treated by cold plasma. Investigations of electrochemical treatment of water solutions are briefly described, in particular, equipment and technique of the experiment. Experimental data show that water solutions' acidity grew from pH 6,93 to 6,51 with varying treatment parameters (control value pH 7,6). The mean power of treatment was found to significantly affect the acidity while initial sparking voltage does not produce such effects. These factors do not affect the rate of acidity change with time. The experimental results allow us to make a conclusion that further investigations of changes in water solutions treated by cold plasma are necessary.

Key words: cold plasma, applied researches, application perspectives, acidity, water, experimental investigations

## REFERENCES

1. Абезин В. Г., Карпунин В. В. Trickle irrigation system with electro-activating module [Система капельного орошения с модулем электроактивации оросительной системы]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2007. № 6. P. 23–25.
2. Кравченко А. В., Берлизорова С. А., Несторенко А. Ф., Кублановский В. С. About water property changes which was treated by low-temperature plasma electrolyze [Об изменении свойств воды, подвергнутой низкотемпературному плазменному электролизу]. *Khimiya vysokikh energii*. 2004. Vol. 38. № 5. P. 375–379.
3. Лагутин В. В. Sovershenstvovanie tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv vozdelivaniya ovoshchnykh kul'tur s ispol'zovaniem aktivirovannoy vody: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk [Improvement of technologies and equipment for vegetables' production with activated water usage: author's abstract of PhD. agr. sci. diss.]. Volgograd, 2002. 25 p.
4. Patent RU 2370451 C2, MPK CO2F1/461. Reaktor dlya elektrokhimicheskoy obrabotki zhidkosti [Reactor for liquid electrochemical treatment]. Futrik S. N., Demin P. K.
5. Patent RU 2475456 C2, MPK CO2F1/461. Ustanovka dlya elektroliza vodno-solevykh rastvorov [Device for water-salt solutions' reagent]. Belozerov A. V., Turnikov M. N.
6. Pisarenko L. V. Primenenie plazmennykh potokov i zhiznesposobnykh kozhnykh allotransplantatov v kompleksnom lechenii ran. Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk [Plasma flows and viable skin allograft application in wounds' complex cure: author's abstract of phd dissertation]. Volgograd, 2008. 22 p.
7. Тихонов Е. А. Investigation of influence of cold plasma treatment on potato planting stock on growth intensity and yield [Исследование влияния обработки посадочного материала картофеля водой, обработанной перекристаллизованной плазмой, на интенсивность роста и урожайность]. Политематический сетевой научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар, КубГАУ Publ., 2013. № 85 (01). P. 325–335. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/01/pdf/25.pdf>
8. Ткачев А. Н., Яковенко С. И. Extreme unideal meta-stable undercooled plasma [Предельно неидеальная метастабильная переохлажденная плазма]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 1997. Т. 67. № 8. С. 42–53.
9. Трошенкова С. А., Хлюстова А. В., Максимов А. И. Smoulder discharge with electrolyte cathode influence on solution properties [Влияние тлеющего разряда с электролитным катодом на свойства раствора]. *Sbornik materialov III Mezhdunarodnogo simpoziuma po teoreticheskoy i prikladnoy plazmokhimii*. Иваново, 2002. Vol. 1. P. 352–354.
10. Кравченко О. В. Vliyanie elektrokhimicheskoi aktivirovannoy vody na posevnye kachestva semyan zernovykh i bobovykh kul'tur i produktivnost' yarovogo yachmenya na svetlo-kashtanovykh pochvakh Volgogradskoy oblasti: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk [Electrochemical activated water influence on sowing properties of grain and babaceous crops and spring barley productivity on Volgogradskaya region light chestnut soils: author's abstract of PhD agr. sci. diss.]. Volgograd, 2008. 22 p.
11. Хлюстова А. В. Protsessy perenosa komponentov rastvora I–I elektrolitov v sisteme plazma-rastvor: Avtoref. diss. ... kand. khim. nauk [I-I electrolytes solution components' transfer processes in plasma-solution system: author's abstract of PhD. chem. sci. diss.]. Иваново, 2004. 24 p.
12. Храпенков С. Н., Гернет М. В., Бахир В. М. Electrochemical activated systems influence on malt ferments [Vozdeystvie elektrokhimicheskoi aktivirovannykh sistem na fermenty soloda]. *Pivo i napitki*. 2002. № 5. P. 20–21.