

УДК 635.63:631.531.027

UDC 635.63:631.531.027

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

**THEORETICAL FUNDAMENTALS OF
ELECTROCHEMICAL TREATMENT OF
WATER SOLUTIONS**

Плутахин Геннадий Андреевич
к.б.н., профессор
*Кубанский государственный аграрный универси-
тет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13*
ScopusID: 55102866400

Plutakhin Gennady Andreevitsh
Dr.Sci.Biol., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia
ScopusID: 55102866400

Аидер Мохаммед
д.т.н., профессор
Лавальский университет, Квебек, Канада

Mohammed Aider
Dr.Sci.Tech., professor
Université Laval, Quebec, Canada

Кошчаев Андрей Георгиевич
д.б.н., профессор
*Кубанский государственный аграрный универси-
тет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13*

Koshchaev Andreyi Georgievitch
Dr.Sci.Biol., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia
:

Гнатко Елена Николаевна
к.т.н., старший преподаватель
*Украинский государственный химико-
технологический университет, Днепрпетровск,
Украина*

Gnatko Elena Nikolaevna
Cand.Tech.Sci., assistant professor
*Ukrainian State University of Chemical Engineering,
Dnepropetrovsk, Ukraine*

В настоящем обзоре освещаются теоретические
основы электроактивации водных растворов, их
характеристики и свойства

The present review highlights the theoretical founda-
tions of electric activation of aqueous solutions, their
characteristics and properties

Ключевые слова: АНОЛИТ, КАТОЛИТ,
ЭЛЕКТРОАКТИВАТОР,
ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫЕ ВОДНЫЕ
РАСТВОРЫ

Keywords: ANOLYTE, CATHOLYTE,
ELEKTROAKTIVATOR, ELECTROACTIVATED
WATER SOLUTIONS

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	2
Электролиз и получение электроактивированной воды.....	3
Термодинамические аспекты получения ЭХА водных растворов.....	6
Электроактиваторы и технические требования к ним.....	8
Устройство электроактиваторов.....	10
Комбинационное рассеяние ИК излучения электроактивированными водными растворами.....	13
Заключение.....	16
Использованная литература.....	17

Введение. Вода является важным составным компонентом биологических систем и играет главную роль в формировании физико-химических свойств молекул растворенных в ней веществ. С химической точки зрения молекула воды состоит из двух атомов водорода, связанных с одним атомом кислорода. Все биологические, биохимические и физико-химические реакции в живых организмах происходят только в водных средах [60]

В течение последних десятилетий в мире наблюдается рост научного интереса к использованию воды как потенциального источника нетрадиционных химических реакции [50, 40]. Ряд исследований показал, что существующие в настоящее время стандарты качества воды и водных растворов не являются идеальными и не учитывают многие параметры, характеризующие биологическую ценность и физико-химическую активность этих растворов. Физиологическое действие воды на биологические системы определяется ее химическим составом, степенью очистки и рядом других физических параметров, характеризующих воду с энергетической точки зрения как сложную структурированную систему [51]. Свойства этой сложной структурированной системы более выражены после перехода ее в неравновесное термодинамическое состояние [24, 25]. Активацию воды и сопровождающий перевод ее в неравновесное термодинамическое состояние можно провести с помощью физических, химических или биологических методов. Среди этих методов наиболее эффективными являются резонансная нелинейная технология и электроактивация [34, 35].

Активированная вода характеризуется высокой биологической и физико-химическими активностями [26, 49]. Одним из ее наиболее важных таких параметров является окислительно-восстановительный потенциал (ОВП). Для обеспечения высокой эффективности в физиологических процессах биологических клеток, органов и организмов в целом редокс потенциал питьевой воды должно быть отрицательным [24, 25].

Как правило, модификация воды при электроактивации происходит в приэлектродных пространствах электролизного устройства. В присутствии электрического поля растворы активируются и могут использоваться в различных химических реакциях и катализе, в биологических системах и энзимологии [41].

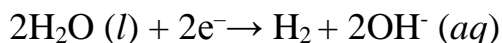
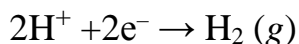
Как правило, модификация воды осуществляется в приэлектродных пространствах электролизного устройства. В присутствии электрического поля растворы активируются и могут использоваться в различных химических реакциях и катализе, в биологических системах и энзимологии [14, 46, 48]. Высокую реакционную способность электрохимически активированным (ЭХА) растворам в метастабильном состоянии придают измененные рН и ОВП, что позволяет использовать их в биотехнологии и пищевой промышленности, обеспечивая экологическую и продовольственную безопасности [2, 5, 13, 17, 18, 19, 20].

В настоящем обзоре обобщены некоторые фундаментальные аспекты получения ЭХА растворов, приведены их физико-химические характеристики, а также рассмотрены устройства для электроактивации водных растворов.

Электролиз и получение электроактивированной воды. Электроактивация водных растворов основана на явлении, называемом электролизом [3, 55]. Когда водный раствор подвергается воздействию внешнего электрического поля, заряженные ионы мигрируют в сторону электродов противоположного заряда. При электролизе имеют место два химических явления – окисление (процесс отдачи электронов) и восстановление (процесс присоединения электронов). В воде или любом водном растворе электрохимические реакции, протекающие на отрицательном электроде, называемом «катод», приводят к переносу электронов (e^-) от катода на положительно заряженные ионы. Примером этому является водородный катион,

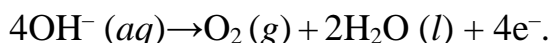
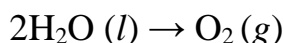
который при восстановлении переходит в форму газообразного водорода ($H_2(g)$).

Катод (восстановление):



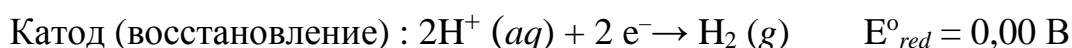
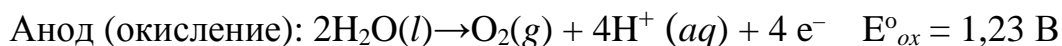
На положительно заряженном электроде, называемом «анод», происходят реакции окисления. В этом случае к нему мигрируют отрицательные ионы. Простым примером является отрицательно заряженный кислород молекулы воды. Миграция иона кислорода и его окисление анодом приводят к образованию газообразного кислорода ($O_2(g)$) согласно приведенным ниже реакциям.

Анод (окисление):



В присутствии только электрически нейтральных и диссоциированных молекул воды, в окислительно-восстановительных реакциях электролиза участвующие участвуют ионы H^+ и OH^- , и количество выделяемых молекул водорода в два раза выше, чем молекул кислорода. Поэтому при одинаковых для обоих газов температуре и давлении объем газообразного водорода вдвое больше объема произведенного газообразного кислорода.

Разложение чистой воды на водород и кислород, происходящее при нормальной температуре и давлении, термодинамически невыгодно. Электролиз происходит за счет подводимой энергии постоянного тока и энергии, выделяющейся при химических превращениях на электроде.



Согласно уравнению Нернста, стандартный потенциал электролиза воды равен 1,23 В при температуре 25 °С и рН 0 (молярная концентрация

$H^+ = 1 \text{ M}$). Таким же он будет при температуре $25 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\text{pH} 7$ (молярная концентрация $H^+ = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$). В таких условиях свободная энергия Гиббса для электролиза воды больше нуля. Это можно показать с помощью следующего уравнения:

$$G = -nFE,$$

где n – число молей электронов, F – постоянная Фарадея.

Таким образом, эта реакция невозможна без введения извне энергии. Ее источником при электролизе является приложенное внешнее электрическое поле E . Так как электроактивация воды сравнительно новый подход в науке, то термодинамика этого процесса еще до конца не изучена [57].

Создание любого электроактиватора с технической точки зрения – задача непростая. Это объясняется очень высокой интенсивностью электрофизических воздействий на молекулы воды, происходящих преимущественно в двойном электрическом слое на границе раздела электрод/раствор (в непосредственной близости от поверхности электрода). В этом слое интенсивность локального электрического поля достигает сотен тысяч вольт на сантиметр, что значительно превышает его среднее значение в электроактивируемом растворе. У границ анода и катода двойной электрический слой в низко концентрированных растворах крайне тонкий, и с увеличением концентрации электролита его толщина уменьшается. Поэтому электроактиватор должен быть спроектирован таким образом, чтобы обеспечить максимальную обработку микрообъемов воды, находящихся в непосредственной близости к границе раздела электрод/раствор.

Качество электроактивированного водного раствора зависит и от ряда физических факторов, таких как температура, скорость протока раствора через электроактиватор и концентрация в нем электролитов [45]. На его физико-химические и антибактериальные свойства также влияют условия хранения ЭХА растворов [44].

Термодинамические аспекты получения ЭХА водных растворов.

Молекулы воды взаимодействуют с внешним электрическим полем, наложенным на раствор. Осуществляют это взаимодействием дипольные моменты всех молекул воды и связанная с этим высокая электроотрицательность в них атома кислорода. При этом в разных средах молекулы воды, возбужденные электрическим полем, под его действием ведут себя неодинаково. Например, в присутствии электрического поля подвергается значительным изменениям рост кристаллов льда [52].

Вода представляет собой жидкость, которая в определенных условиях может вести себя подобно сплошному металлическому проводнику. В последние годы развивается новая концепция, называемая «water wires», заинтересовавшая ученых благодаря своей значимости в биологических системах и в исследовании наноматериалов. Ряд исследований показали влияние электрических полей на кооперативные явления в жидкой воде и больших ее кластерах [64]. Электрические поля также влияют на структурные и энергетические изменения кластеров воды [38]. Активации воды – это процесс ее перевода в неравновесное термодинамическое состояние, сопровождающееся изменениями в ней: в этом вода приобретает резонансную микрокластерную структуру. Аномалии в рН и в окислительно-восстановительном потенциале электроактивированной воды, как сообщалось, являются результатом стабильной, высокой резонансной энергии микрокластеров воды на основе ковибрирующих диполей ее молекул и заряженных ионов в приэлектродных пространствах [58]. В статике такие системы из диполей неустойчивы (эффект коллапса), но в динамике, при резонансе, проявляется эффект динамической стабилизации неустойчивых состояний. Переменное электромагнитное поле от двух синхронно-осциллирующих диполей имеет узкий спектр частот (резонансный эффект) и убывает $\sim 1/r^6$. Максимум спектра скорее всего приходится на диапазон частот с.в.ч., т.к. для OH^- характерные частоты вращательных переходов

дов ~ 2 ГГц [58]. Это явление названо резонансным эффектом. Аномальные свойства электроактивированных водных растворов, такие как эффект активации и кластерная структура, период релаксации, могут быть частично объяснены высокой стабильностью создаваемых при активации микрокластерных структур [47].

Электроактивация водных растворов, как правило, происходит в электролизных устройствах (камерах). Электролизер состоит из пары электродов, погруженных в электролит и подключенных к внешнему электрическому полю (постоянному или переменному). Непрерывность электрического тока обеспечивается потоком положительно и отрицательно заряженных ионов и молекул в растворе электролита. В такой системе термодинамический потенциал электрода (E_T) может быть выражен уравнением Нернста следующим образом [43, 54]:

$$E_T = E_T^0 = \left(\frac{R_G \times T_K}{n \times F} \ln(\prod_i a_i^{S_i}) \right),$$

где E_T^0 – стандартный потенциал при 25°C и термодинамической активности его ионов, равной единице;

a_i – активность иона вида I ;

S_i – соответствующий стехиометрический коэффициент (>0 для продуктов или <0 для реагентов);

F – постоянная Фарадея ($96,486 \text{ }^\circ\text{C mol}^{-1}$);

R_G – универсальная газовая постоянная ($8.31 \text{ Дж моль}^{-1} \text{ K}^{-1}$);

T_K – абсолютная температура;

n – общее число электронов, участвующих в реакции.

В электролизной камере с двумя электродами, погруженными в раствор хлористого натрия, разница в термодинамических потенциалах при 25°C можно определить следующим уравнением:

$$E_d = 1,358 + 0,059\text{pH} - 0,059 \log C_{\text{Cl}^-},$$

где C_{Cl^-} – молярная концентрация ионов хлора.

В электролизной камере разные виды ионов будут непрерывно мигрировать в сторону электродов противоположного заряда. Для того чтобы обеспечить производство электроактивированных водных растворов с метастабильными свойствами, необходимо удерживать разные виды ионов в одной из секций электролитического устройства. В этом случае анодные и катодные секции разделяют нейтральными неселективными или моноплярными ионообменными мембранами.

Электроактиваторы и технические требования к ним. Основой технологии активации водных растворов является электролиз, основные принципы которые были исследованы в начале XIX-го века [61]. Первый электролизер был описан [62]. Последующее развитие электрохимии и создание новых материалов значительно улучшили конструкцию электролизных систем. В это же время появились первые упоминания об электроактивированных водных растворах, что стало революционным событием в области прикладной электрохимии. Позже открытие бактерицидного эффекта электроактивированных водных растворов и возросшие за последние 20 лет экономические и экологические требования в индустрии вызвали значительный рост числа научных разработок и публикаций в этой области исследований [6, 11, 15, 23, 27, 30].

Возросшее число научных публикаций по разработке электроактивирующих систем привело к необходимости систематизации типов электроактивационных процессов и устройств. В основном используемые устройства и технические условия электроактивационных систем отличаются друг от друга по способам обработки водных растворов. Существуют периодические и непрерывные системы [17, 18]. Установки, работающие в непрерывном проточном режиме, наиболее часто применяют в технологи-

ческих линиях. Также этот тип электроактивирующих устройств производится промышленностью для удовлетворения личных потребностей населения и в целях качественного питьевого водоснабжения [37].

Электроактивирующие устройства, работающие в замкнутом режиме, применяются, в основном, в лабораториях при получении больших объемов воды для экспериментальных исследований. Электроактивационные системы производят электроактивированные растворы с определенными физико-химическими и биологическими свойствами. Их преимущественно используют для получения электроактивированных растворов с окислительными свойствами (анолит). Для этого целевой раствор обрабатывается в анодной части электроактиватора. Универсальность технологии электроактивации позволяет в катодной части при этом получать раствор с восстановительными свойствами (католит). В таких случаях проектируемое устройство состоит из двух отсеков, которые делятся на две части (анодные и катодные секции) мембраной.

Электроактивирующие устройства, работающие в замкнутом режиме, применяются, в основном, в лабораториях при получении больших объемов воды для экспериментальных исследований. Электроактивационные системы производят электроактивированные растворы с определенными физико-химическими и биологическими свойствами. Их преимущественно используют для получения электроактивированных растворов с окислительными свойствами (анолит). Для этого целевой раствор обрабатывается в анодной части электроактиватора. Универсальность технологии электроактивации позволяет в катодной части при этом получать раствор с восстановительными свойствами (католит). В таких случаях проектируемое устройство состоит из двух отсеков, которые делятся на две части (анодные и катодные секции) мембраной.

Однако существуют процессы электроактивации, где разделение мембраной не требуется. В этом случае электроактиваторы состоят из двух

электролизеров: в одном из них анолит и католит разделяются мембраной, в другом – нет. Исходя из этой особенности, электроактивирующие системы могут быть содержать обратимые (анод и катод при переключении полярности напряжения меняются электролизной функцией), так и с необратимыми электродами. Кроме того, разработаны системы электроактивации с электрохимически инертными электродами (анод и катод) [32].

Для материала электрода независимо от его конструкции необходим ряд общих требований: (а) материал, используемый для изготовления электрода, должен иметь хорошую электропроводность, высокую каталитическую активность и селективность для целевой электрохимической реакции; (б) для долгосрочного использования материал электрода должен обладать достаточной механической и химической прочностью; с) он должен иметь низкую стоимость (d); расположение электродов в камере и их форма должны обеспечивать равномерное распределение плотности электрического тока; (е) для использования в пищевой промышленности электрод должен быть химически инертным и нерастворимым в продуктах электролиза [39].

Устройство электроактиваторов. Электроактивирование водных растворов осуществляется электрохимическими реакторами, т.е. электролизерами, конструкции которых широко варьируются в процессе проектирования и производства. Например, только в Японии для электроактивации в 1999 году использовались около 30-ти реакторов, имеющих различные конструкционные характеристики [61]. В сущности это означает, что в определенной степени электроактивация может быть достигнута путем использования различных электролизеров. Важно выбрать надлежащие параметры технологических процессов, такие как напряжение, содержание и расход электролита, подающегося в реактор, длительность процесса, конечные значения рН, ОВП и др. однако стандартизовать процесс электролиза достаточно трудно [14].

Исследования по взаимосвязи между конструкционными особенностями электролизеров и технологическими параметрами процесса, с одной стороны, и функциональными свойствами электроактивированных растворов, с другой стороны, практически отсутствует в научной литературе. Как правило, желательные параметры производственного процесса корректируются эмпирически.

Электрохимическая обработка воды и водных растворов осуществляется с использованием электроактиваторов пакетного типа или в проточном варианте [21, 37, 62]. Электроактивация в электролизерах пакетного типа осуществляется в течение фиксированного периода времени, например, 3-115 мин, внутри реакторов объемом от 1 до 15 л.

Как правило, объемный расход воды внутри поточного электролизера варьирует в диапазоне 0,5-1,9 л/мин. Для электролиза используют напряжение 9-120 В, а значения тока, проходящего через электролизер, определяется еще и электропроводностью активируемого раствора и находятся в диапазоне от 0,7 до 20 А. Чрезвычайно высокое напряжение до 1100 В было использовано для активации дистиллированной воды; однако, из-за очень низкой электрической проводимости очищенной жидкости электрический ток при электролизе был величиной в несколько миллиампер [39]. Довольно редко используется переменный ток низкой частоты (около 1 Гц или менее) напряжения 5-15 В для электроактиваторов как пакетного, так и проточных типов.

В общих чертах реакторы для электроактивации отличаются друг от друга формой и материалом их составных частей, таких, как корпуса, электроды и неселективные или ионообменные мембраны, если последние присутствуют. Самыми распространенными являются цилиндрические проточные электроактиваторы, включенных или последовательно, или параллельно [59]. Такие устройства могут быть легко собраны в компактные электрохимические модули, включающие в себя до восьми электролизе-

ров. При параллельном включении электролитических камер увеличивается производительность электроактиватора. При последовательном соединении удается получить более высокие значения рН, ОВП, концентрации активного хлора раствора. В проточном электролизере в качестве катода и анода использовали параллельные пластины. В некоторых случаях были использованы блочные или биполярные электроды.

Своеобразный реактор описан в работе [31]. Электролизер состоит из двух колонок, заполненных зернами магнетита или графита, каждая из которых может фактически рассматриваться как биполярный электрод. Электроактивация в таком устройстве уничтожает в воде даже вирусные агенты, не смотря на то, что они резистентнее к электролизу, чем кишечная палочка.

Химическая стойкость электродов важна для получения растворов высокого качества и определяет срок службы реакторов. Наиболее стойкими должны быть аноды. Для их изготовления были использованы платина, платина с добавлением оксидов иридия и родия, платинированный титан, титан, покрытый активным слоем RuO_2 , титан, покрытый Fe_3O_4 и графит. Титан, платина или графит используются в качестве катодов. Композитный материал, представляющий собой случайно-ориентированный в эпоксидной матрице графит, также использовался для изготовления обоих электродов [12]. Химически достаточно инертный графит обладает некоторыми недостатками – он пористый и крошится. В порах скапливаются водород и кислород, уменьшая, таким образом, активную поверхность электродов.

Электрохимическая активация водных растворов производилась как в непроточных, так и в проточных реакторах с пористой неселективной мембраной, так и без нее [56]. Мембраны позволяют производить электроактивированные растворы с заданными функциональными свойствами, такими как кислые (анолит), щелочные (католит) или практически нейтраль-

ные растворы. Последний может быть получен путем контролируемого смешивания анолита и католита, или последовательным проходом раствора сначала через анодную часть камеры, затем через катодную.

Основные требования, предъявляемые к мембранам – высокая пористость, гидрофильность и низкое электрическое сопротивление. Высококачественная керамическая мембрана использована в [36]. Электропроводящие катионитные мембраны из Нафион-450 и патентованные ионообменные мембраны были применены в [37] наряду с низкопористыми полиэстеровыми и полиэтиленовыми мембранами [61].

Минерализация водных растворов, подвергающихся электроактивации, варьируют в зависимости от содержания в них NaCl, концентрация которого варьирует от 0,1 до 120 г/л [63]. Производимый электроактивированный анолит имеет pH в диапазоне 2,3-6,5, положительный окислительно-восстановительный потенциал (1000-1200 мВ), и примерно 30-300 мг/л растворенного хлора [33].

В то же время католит, получаемый путем электроактивации дистиллированной воды, имеет pH 6,2 и отрицательный окислительно-восстановительный потенциал -329 мВ. Электролиз раствора хлористого натрия концентрации 10^{-4} М дает католит с pH 8,8 отрицательным окислительно-восстановительным потенциалом -390 мВ [5, 24, 25].

Комбинационное рассеяние ИК излучения электроактивированными водными растворами. Согласно сообщениям по исследованиям электроактивированных водных растворов, после возбуждения внешним электрическим полем, они переходят в метастабильное состояние, и их реакционная способность по сравнению с обычной водой значительно увеличивается. Объяснение этому феномену пытаются найти, изучая спектры инфракрасного поглощения электроактивированной воды [1]. В этой связи В. И. Пастухов, В. П. Морозов исследовали спектры комбинационного

рассеяния ИК излучения электроактивированной воды, отражающие состояние водородных связей ее кластерах и их структуру [14].

Чтобы прояснить особенности колебательного спектра электроактивированной воды, авторы исследовали аналогичные спектры химически подкисленной или подщелоченной воды (аналоги электроактивированной воды по кислотно-щелочным свойствам). Для этого электроактивировали воду, содержащую $0,4 \times 10^{-3}$ М NaHSO_4 . На аноде и катоде при этом выделялись молекулярные кислород и водород. Для исследования спектров рамановского рассеяния пробы воды брали из прианодного (анолит) и прикатодного (католит) пространств. Значения pH у анолита составило 4,0, у католита – 10,0. Для сравнения получали также спектры комбинационного рассеяния кислой (серная кислота) и щелочной (натрия гидроксид) воды. Спектры комбинационного рассеяния получали в кварцевых кюветах, которые освещали 200 мВт аргоновым лазером с длиной волны линии излучения 488 нм. Рассеянный свет собирали под углом 90 градусов к лазерному лучу, спектры регистрировали в диапазоне $500\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ при $20\text{ }^\circ\text{C}$

Результаты показали, что спектры комбинационного рассеяния электроактивированной воды, взятой непосредственно у анода (анолит) или у катода (католит), в диапазоне $700\text{ и }2700\text{ см}^{-1}$ значительно отличались от аналогичных спектров химически подкисленной воды (рис. 1). Авторы показали, что добавление серной кислоты в воду привело к появлению колебательных полос в спектре в области $1000\text{--}2500\text{ см}^{-1}$. Также было обнаружена временная зависимость интенсивности рассеяния излучения. Так, интенсивность рассеяния ИК излучения католитом через 24 часа значительно уменьшалась, чего почти не наблюдалось у анолита. При смешивании двух равных объемов растворов анолита и католита наблюдали уменьшение рассеяния в диапазоне длин волн $700\text{--}2700\text{ см}^{-1}$ по сравнению с первоначальными индивидуальными интенсивностями [14].

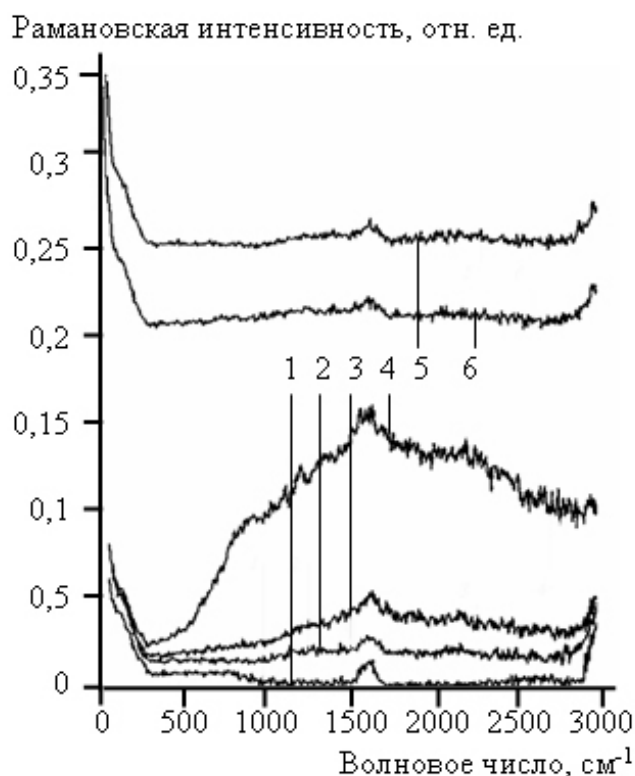


Рис. 1 – Спектры комбинационного рассеяния (1) чистая вода, (2) $0,4 \times 10^{-3}$ М раствор гидросульфата натрия, (3) прикатодный католит, (4) прикатодный анолит, (5) химический аналог католита, (6) химический аналог анолита [14]

Результаты этих исследований позволяют предположить, что инфракрасные спектры поглощения концентрированных растворов кислот и щелочей имеют те же полосы поглощения, что и рамановские спектры анолита и католита. При этом электроактивированные растворы обладают свойствами, подобными растворам концентрированных кислот и щелочей, даже если их концентрация очень низка. При этом электроактивированные растворы обладают свойствами, подобными растворам концентрированных кислот и щелочей, даже если их концентрация очень низка [42].

В электроактивированных растворах были зарегистрированы два явления: высокая поляризуемость АН...А или ВН...В водородных связей и непрерывное распределение энергии остатков протонов комплекса А (или В), взаимодействующих с разной силой [42]. Избыточные ионы гид-

Обычно спектры комбинационного рассеяния воды и водных растворов интерпретируют на основе временной зависимости изменений силы водородных связей [3, 53]. Широкие полосы рамановского рассеяния ИК излучения анолитом и католитом связаны с избытком H^+ и OH^- гидратированных ионов, которые генерируются при электролизе в анолите и католите, соответственно, и определяют кислотно-основные свойства растворов [14]

роксила в прикатодном растворе (католит) могут участвовать в формировании более симметричных и слабых водородных связей $(O \cdots H \cdots O)^-$. Одновременно, в анолите по высокому уровню интенсивности широкой полосы комбинационного рассеяния обнаружены сильные водородные связи.

Это также объясняет более высокое рассеяние ИК излучения анолитом по сравнению с рассеянием католитом. В ближайшем приэлектродном пространстве, в котором раствор обладает высокой кислотностью, поглощение в ИК области вызвано группами H_5O_2 . В прикатодном пространстве у катода полоса поглощения вызвана группой H_3O^{-2} [42]. Кроме того, электрохимическая диссоциации молекул воды в приэлектродном пространстве приводит к образованию неустойчивых комплексов, таких как (OO) , $(OO)^+$ и $(HH)^+$. Эти комплексы рассматриваемые как промежуточные звенья, и их колебательные моды, могут вносить вклад в рассеяние в соответствующих областях спектра. Добавка небольшого количества сернокислого натрия не влияет на спектры комбинационного рассеяния света электроактивированных растворов. Это наблюдение подтверждает метастабильное состояния, в котором находится приэлектродный раствор.

Заключение. Анализируя литературные данные, мы можем сделать вывод о возможности электроактивации воды и водных растворов в электролизных систем. При этом наиболее активированный раствор получается на границе раздела электрод-водный раствор. Кроме того, электроактивированная вода и водные растворы находятся в метастабильном состоянии, что значительно повышает их реакционную способность, поэтому они могут быть эффективно использованы в физико-химических и биологических реакциях.

В практическом плане электроактивированная вода и водные растворы служат мощными инструментами, используемыми для обеспечения продовольственной безопасности, сокращая применение привычных и дорогих методов дезинфекции [4, 8, 28, 29]. Тем не менее, необходимы даль-

нейшие исследования, для понимания термодинамики электроактивационных процессов в воде и водных растворах.

Кроме того, электроактивированные растворы нашли широкое практическое применение в технологиях получения кормовых продуктов для животноводства. Так, их применение позволяет снизить содержание антипитательных веществ в семенах нативной сои [10, 22] и гороха [20] и повысить питательность побочных продуктов пищевой промышленности, таких как подсолнечный шрот [16, 21] и отруби [19], характеризующиеся высоким содержанием клетчатки. Использование проточной электроактивации соков растений при фракционировании зеленой массы позволяет получать белковый концентрат с высоким содержанием каротиноидов, находящий широкое применение в птицеводстве [7, 9, 10, 18, 23].

Активированные растворы, как было убедительно показано, в малых дозах превышают по эффективности и физико-химическим свойствам химически полученные эквиваленты. Более высокий по сравнению с традиционными химическими растворами уровень биоцидной силы позволяет использовать электроактивированные растворы в более низкой дозе по сравнению с традиционными химическими растворами, тем самым устраняя опасность интоксикации и негативного воздействия на окружающую среду. Важно отметить, что анолиты показывают неодинаковую эффективность против различных бактерий и вирусов. Это означает, что чувствительность бактерий к ним не такое уж редкое явление, и что многие микроорганизмы по-разному устойчивы к таким антимикробным веществам. Грамположительные и грамотрицательные бактерии могут также по-разному реагировать на обработку электроактивированными растворами.

Использованная литература

1. Антонченко В. Я. Основы физики воды / В. Я. Антонченко, А. С. Давыдов, В. В. Ильин. Киев: Наукова думка, 1991. – 672 с.
2. Безотходная переработка подсолнечного шрота / А. Г. Кощаев, Г. А. Плута-

хин, Г. В. Фисенко, А. И. Петренко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 3. – С. 66–68.

3. Делимарский Ю. К. Электролиз: Теория и практика / Ю. К. Делимарский. – Киев: Техніка, 1982. – 167 с.

4. Жолобова И. С. Лечение актиномикоза крупного рогатого скота натрия гипохлоритом / И. С. Жолобова, А. Г. Кощаев, Н. В. Сазонова // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. – 2009. – Т. 17. – № 2. – С. 38–39.

5. Жолобова И. С. Мясная продуктивность и качество мяса перепелов после применения натрия гипохлорита / И. С. Жолобова, А. В. Лунева, Ю. А. Лысенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 41 (1). – С. 146–150.

6. Жолобова И. С. Эффективность использования активированных растворов хлоридов при лечении собак с хирургическими заболеваниями / И. С. Жолобова, А. Г. Кощаев, А. В. Лунева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 36 (1). – С. 270–272.

7. Кощаев А. Г. Биотехнология получения и консервирования сока люцерны и испытания коагулята на птице / А. Г. Кощаев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2006. – № 3. – С. 222–234.

8. Кощаев А. Г. Фармакологическое действие натрия гипохлорит на организм перепелов / А. Г. Кощаев, А. В. Лунева, Ю. А. Лысенко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 06(090). – С. 166–180.

9. Кощаев А. Г. Биотехнологические и физиолого-биохимические аспекты получения, консервирования и использования коагулята из сока люцерны при выращивании цыплят-бройлеров: дис. ... канд. биол. наук: 06.02.05 Краснодар, 2000.

10. Кощаев А. Г. Биотехнология производства и применение функциональных кормовых добавок для птицы: дис. ... д-ра биол. наук: 16.00.04 Краснодар, 2008.

11. Кузьминова Е. В. Нормализация функции печени у крупного рогатого скота / Е. В. Кузьминова, И. С. Жолобова, А. Г. Зафириди // Ветеринарная патология. – 2006. – № 2. – С. 140–142.

12. Ловцевич Е. Л. Дезинфекция питьевой воды, содержащей энтеровирусы продуктами электролиза хлорида натрия / Е. Л. Ловцевич, Л. А. Сергунина // Гигиена и санитария. – 1968. – Т. 33(9). – С. 22–26.

13. Набок М. Выпечка пшеничного хлеба с использованием в тестозамешивании электроактивированных водных растворов / М. Набок, Г. Плутахин // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2009. – №9. – С. 38–41.

14. Пастухов В. И. Комбинационное рассеяние света электроактивированной водой / В. И. Пастухов, В. П. Морозов // Оптика и спектроскопия. – 2000. – Т. 88(1). – С. 41–44.

15. Пат. 2195836, Российская Федерация, МПК7 А 23 К 1/00, 1/12, А 23 J 1/14. Способ получения белкового концентрата / А. И. Петенко, О. П. Татарчук, А. Г. Кощаев. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ». Оpubл. 10.01.03.

16. Пат. 2201101, Российская Федерация, МПК7 А 23 К 1/14. Способ обработки грубых кормов / А. Г. Кощаев, А. И. Петенко, О. П. Татарчук. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ». Оpubл. 30.05.2001.

17. Пат. 2218811, Российская Федерация, МПК7 А 23 К 1/14. Способ изготовления белкового концентрата из подсолнечного шрота / А. И. Петенко, О. П. Татарчук, А. Г. Кощаев, Г. А. Плутахин. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ». Оpubл. 20.12.03.

18. Пат. 2233597, Российская Федерация, МПК7 А 23 К 1/14. Способ получения кормовой добавки из сока растений / А. Г. Кощаев, А. И. Петенко, Г. А. Плутахин. Оpubл. 10.08.04, бюл. № 22.

19. Пат. 2266682, Российская Федерация, МПК А 23 К 1/16. Способ получения кормовой добавки из отрубей / А. Г. Кощаев, А. И. Петенко, О. В. Кощаева. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ». Оpubл. 27.12.05.

20. Пат. 2268612, Российская Федерация, МПК А 23 К 1/14. Способ получения белковой добавки из гороха / А. Г. Кощаев, Г. А. Плутахин, А. И. Петенко, О. В. Кощаева, В. В. Ткачев. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ». Оpubл. 27.01.06.

21. Пат. 2268613, Российская Федерация, МПК А 23 К 1/14. Способ получения белковой добавки из шрота / А. Г. Кощаев, Г. А. Плутахин, А. И. Петенко, О. В. Кощаева, В. В. Ткачев. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ». Оpubл. 27.01.06.

22. Пат. 2276941, Российская Федерация, МПК А 23 L 1/20. Способ обработки семян сои / А. Г. Кощаев. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ». Оpubл. 27.05.06.

23. Патент 2171035, Российская Федерация, МПК7 А 23 К 1/14. Способ получения кормовой добавки из сока растений / А. Г. Кощаев, А. И. Петенко, Г. А. Плутахин. Оpubл. 20.02.01, бюл. № 21.

24. Петрушанко И. Ю. Неравновесные состояния электрохимически активированной воды и ее биологической активности / И. Ю. Петрушанко, В. И. Лобышев // Биофизика. – 2001. – Т. 46(3). С. 389–401.

25. Петрушанко И. Ю. Физико-химические свойства водных растворов, полученных в мембранном электролизере / И. Ю. Петрушанко, В. И. Лобышев// Биофизика, 2004. – Т. 49(1). – С. 22–31.

26. Плутахин Г. А. Биофизика, 2-е изд., перераб. и доп.: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Г. А. Плутахин, А. Г. Кощаев. – СПб: Издательство «Лань», 2012. – 240 с.

27. Плутахин Г. А. Биофизика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Г. А. Плутахин, А. Г. Кощаев. – Краснодар: ФГОУ ВПО «Кубанский гос. аграрный ун-т», 2010. – 264 с.

28. Плутахин Г. А. Получение белкового изолята из подсолнечного шрота с помощью электроактиватора / Г. А. Плутахин, А. Г. Кощаев, А. И. Петенко// Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 6. – С. 38–39.

29. Плутахин Г. А. Электротермическое осаждение белков растительного сока/ Г. А. Плутахин, А. Г. Кощаев, А. И. Петенко// Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 8. – С. 20.

30. Получение кормового белкового изолята из подсолнечного шрота / А. Г. Кощаев, Г. А. Плутахин, Г. В. Фисенко, А. И. Петенко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2009. – Т. 1. – № 18. – С. 141-145.

31. Сергунина Л. А. Эффективным методом электролиза для обеззараживания питьевой воде / Л. А. Сергунина // Гигиена и санитария. – 1968. – Т. 33(4). – С. 16–21.

32. Якименко Л. М. Электродные материалы в прикладной химии / Л. М. Якименко // М.: Химия, 1977. – 264 с.

33. Antimicrobial activity of superoxidized water / Н. Tanaka, Y. Hirakata, М. Kaku, R. Yoshida, Н. Takemura, R. Mizukane // Journal of Hospital Infection. – 1996. – V. 34(1). – P. 43–49.

34. Bahir V. Electrochemical activation: A strategy for creation of environmentally benign technologies / V. Bahir // Activated Water Moscow. – 1996. – V 1. – P. 1–7.

35. Bakhir V. M. Apparatus for electrochemical treatment of water and/or water solutions / V. M. Bakhir, J. G. Zadorozhny, T. Barabush // US Patent 5628888. – 1997.
36. Comparison of a solution of super-oxidized water (Sterilox) with glutaraldehyde for the disinfection of bronchoscopes, contaminated / A. M. Middleton, M. V. Chadwick, J. L. Sanderson, H. Gaya // *The Journal of Hospital Infection*. – 2000. – V. 45(4). – P. 278–282.
37. Disinfection potential of electrolyzed solutions containing sodium chloride at low concentrations / C. Morita, K. Sano, S. Morimatsu, H. Kiura, T. Goto, T. Kohno // *Journal of Virological Methods*. – 2000. – V. 85(2). – P. 163–174.
38. Dykstra C. E. External electric field effects on the water trimer / C. E. Dykstra // *Chemical Physics Letters*. – 1999. – V. (2)299. – P. 132–136.
39. Effect of electrolyzed water on wound healing / N. Yahagi, M. Kono, M. Kitahara, A. Ohmura, O. Sumita, T. Hashimoto // *Artificial Organs*. – 2000. – V. 24(12). – P. 984–987.
40. Electro-activated aqueous solutions: theory and application in the food industry and biotechnology / M. Aider, A. Kastyuchik, E. Gnatko, M. Benali, G. Plutakhin // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2012. – V. 15. – P. 38–49.
41. Emergence of the science and technology of electroactivated aqueous solutions: Applications for environmental and food safety / E. N. Gnatko, V. I. Kravets, E. V. Leschenko, A. Omelchenko // *Environmental Security and Ecoterrorism*. – 2011.
42. Extremely high polarizability of hydrogen bonds / R. Janoschek, E. G. Weidemann, H. Pfeiffer, G. Zundel // *Journal of the American Chemical Society*. – 1972. – V. 94(7). – P. 2387–2396.
43. Fidaleo M. Electrodialysis applications in the food industry / M. Fidaleo, M. Moresi // *Advances in Food and Nutrition Research*. – 2006. – V. 51. – P. 265–360.
44. Hsu S. Y. Effects of storage conditions on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water/ S. Y. Hsu, H. Y. Kao // *Journal of Food Engineering*. – 2004. – V. 65(3). – P. 465–471.
45. Hsu S. Y. Effects of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator / Hsu S. Y. // *Journal of Food Engineering*. – 2003. – V. 60(4). – P. 469–473.
46. Inactivation of staphylococcal Enterotoxin-A with an electrolyzed anodic solution / T. Suzuki, J. Itakura, M. Watanabe, M. Ohta, Y. Sato, Y. Yamata // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – V. 50. – P. 230–234.
47. Installations and devices for ecologic safety at home, at work and in hospitals/ V. G. Shironosov, G. I. Shironosova, V. V. Minakov, V. B. Ivanov // *Abstracts of the XIII International Symposium «2003– International Year of Water», Austria*. – 2003.
48. Izumi H. Electrolyzed water as a disinfectant for fresh-cut vegetables/ H. Izumi // *Journal of Food Protection*. – 1999. – V. 64. – P. 536–539.
49. Kim C. Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens / C. Kim, Y. C. Hung, R. E. Brackett // *Journal of Food Protection*. – 2000. – V. 63. – P. 19–24.
50. Kirpichnikov P. A. On the nature of electrochemical activation of media / P. A. Kirpichnikov, V. M. Bakhir, P. U. Hamer // *Transactions of the Academy of Sciences of USSR*. – 1986. – V. 286. – P. 663–667.
51. Kloss A. I. Electron-radical dissociation and mechanism of water activation / A. I. Kloss // *Transactions of the Academy of Sciences of USSR*. – 1988. – V. 303. – P. 1403–1406.
52. Libbrecht K. G. Electrically induced morphological instabilities in free dendrite growth / K. G. Libbrecht, V. M. Tanusheva // *Physical Review Letters*. – 1998. – V. 81(1). – P. 176–179.

53. Moskovits M. A reinvestigation of the Raman spectrum of water / M. Moskovits, K. H. Michaelian // *Journal of Chemical Physics*. – 1978. – V. 69(6). – P. 2306–2311.
54. Prentice G. *Electrochemical engineering principles* / G. Prentice // Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice-Hall International. – 1991.
55. Shaposhnik V. A. An early history of electro dialysis with permselective membranes / V. A. Shaposhnik, K. Kesore // *Journal of Membrane Science*. – 1997. – V. 136(1–2). – P. 35–39.
56. Shimada K. A comparison of the bactericidal effects and cytotoxic activity of three types of oxidizing water, prepared by electrolysis, as chemical dental plaque control agents / K. Shimada, K. Ito, S. Murai // *International Journal of Antimicrobial Agents*. – 2000. – V. 15(1). – P. 49–53.
57. Shirahata S. Advanced research on the health benefit of reduced water / S. Shirahata, T. Hamasaki, K. Teruya // *Trends in Food Science & Technology*. – 2012. – V. 23(2). – P. 124–131.
58. Shironosov V. G. Non-contact electrochemical water activation experiments. Collection of abstracts of the 2-nd International Symposium Electrochemical activation in medicine, farming and industry / V. G. Shironosov, E. V. Shironosov // Moscow, VNIIMT AO NPO Screen, Part 1. – 1999. – P. 66–68.
59. Some factors influencing the stability of Sterilox[reg], a super-oxidised water / G. Rossi-Fedele, E. J. Dogramaci, L. Steier, J. A. P. Figueiredo // *British Dental Journal*. – 2011. – V. 210(12). – doi:10.1038/sj.bdj.2011.143. Online article # E23.
60. Stewart K. M. *Physical Properties of Water* / K. M. Stewart // *Encyclopedia of Inland Waters*. – 2009. – P. 148–154.
61. The cleaning and disinfecting of hemodialysis equipment using electrolyzed strong acid aqueous solution / N. Tanaka, T. Fujisawa, T. Daimon, K. Fujiwara, M. Yamamoto, T. Abe // *Artificial Organs*. – 1999. – V. 23(4). – P. 303–309.
62. The mechanism of low frequency a.c. electrochemical disinfection / G. E. Stoner, G. L. Jr. Cahen, M. Satchyani, E. Gileadi // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. – 1982. – V. 9(3). – P. 229–24.
63. Trial of electrolyzed strong acid aqueous solution lavage in the treatment of peritonitis and intraperitoneal abscess / Y. Inoue, S. Endo, K. Kondo, H. Ito, H. Omori, K. Saito // *Artificial Organs*. – 1997. – V. 21(1). – P. 28–31.
64. Vegiri A. Origin of the enhanced structural and reorientational relaxation rates in the presence of relatively weak dc electric fields / A. Vegiri // *Pure and Applied Chemistry*. – 2004. – V. 76. – P. 215–221.

References

1. Antonchenko V. Ja. *Osnovy fiziki vody* / V. Ja. Antonchenko, A. S. Davydov, V. V. Ilin. Kiev: Naukova dumka, 1991. – 672 s
2. Bezothodnaja pererabotka podsolnechnogo shrota / A. G. Koshchaev, G. A. Plutakhin, G. V. Fisenko, A. I. Petrenko // *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja*. – 2008. – № 3. – S. 66–68
3. Delimarskij Ju. K. *Jelektroliz: Teorija i praktika* / Ju. K. Delimarskij. – Kiev: Tehnika, 1982. – 167 s
4. Zholobova I. S. Lechenie aktinomikoza krupnogo rogatogo skota natrija gipohloritom / I. S. Zholobova, A. G. Koshchaev, N. V. Sazonova // *Sbornik nauchnyh trudov Sworld po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – 2009. – T. 17. – № 2. – S. 38–39

5. Zholobova I. S. Mjasnaja produktivnost i kachestvo mjasa perepelov posle primeneniya natrija gipohlorita / I. S. Zholobova, A. V. Luneva, Ju. A. Lysenko // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – T. 41 (1). – S. 146–150
6. Zholobova I. S. Jeffektivnost ispolzovanija aktivirovannyh rastvorov hloridov pri lechenii sobak s hirurgicheskimi zabojevanijami / I. S. Zholobova, A. G. Koshchaev, A. V. Luneva // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2012. – T. 36 (1). – S. 270–272
7. Koshchaev A. G. Biotehnologija poluchenija i konservirovanija soka ljucerny i ispytaniya koaguljata na ptice / A. G. Koshchaev // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2006. – № 3. – S. 222-234
8. Koshchaev A. G. Farmakologicheskoe dejstvie natrija gipohlorit na organizm perepelov / A. G. Koshchaev, A. V. Luneva, Ju. A. Lysenko // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – № 06(090). – S. 166-180
9. Koshchaev A. G. Biotehnologicheskie i fiziologo-biohimicheskie aspekty poluchenija, konservirovanija i ispolzovanija koaguljata iz soka ljucerny pri vyrashhivanii cypjat-brojlerov: dis. ... kand. biol. nauk: 06.02.05 Krasnodar, 2000.
10. Koshchaev A. G. Biotehnologija proizvodstva i primenenie funkcionalnyh kormovyh dobavok dlja pticy: dis. ... d-ra biol. nauk: 16.00.04 Krasnodar, 2008
11. Kuzminova E. V. Normalizacija funkcii pecheni u krupnogo rogatogo skota/ E. V. Kuzminova, I. S. Zholobova, A. G. Zafiridi // Veterinarnaja patologija. – 2006. – № 2. – S. 140–142
12. Lovcevich E. L. Dezinfekcija pit'evoj vody, sodержashhej jenterovirusy produktami jelektroliza hlorida natrija / E. L. Lovcevich, L. A. Sergunina // Gigiena i sanitarija. – 1968. – T. 33(9). – S. 22–26
13. Nabok M. Vypechka pshenichnogo hleba s ispolzovaniem v testozameshivanii jelektroaktivirovannyh vodnyh rastvorov / M. Nabok, G. Plutakhin // Hlibopekarska i konditerska promisloviz Ukraïni. – 2009. – №9. – S. 38–41
14. Pastuhov V. I. Kombinacionnoe rassejanie sveta jelektroaktivirovannoj vodoj / V. I. Pastuhov, V. P. Morozov // Optika i spektroskopija. – 2000. – T. 88(1). – S. 41-44
15. Pat. 2195836, Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A 23 K 1/00, 1/12, A 23 J 1/14. Sposob poluchenija belkovogo koncentrata / A. I. Petenko, O. P. Tatarchuk, A. G. Koshchaev. Opubl. 10.01.03
16. Pat. 2201101, Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A 23 K 1/14. Sposob obrabotki grubyh kormov / A. G. Koshchaev, A. I. Petenko, O. P. Tatarchuk. Opubl. 30.05.2001
17. Pat. 2218811, Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A 23 K 1/14. Sposob izgotovlenija belkovogo koncentrata iz podsolnechnogo shrota / A. I. Petenko, O. P. Tatarchuk, A. G. Koshchaev, G. A. Plutakhin. Opubl. 20.12.03
18. Pat. 2233597, Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A 23 K 1/14. Sposob poluchenija kormovoj dobavki iz soka rastenij / A. G. Koshchaev, A. I. Petenko, G. A. Plutakhin. Opubl. 10.08.04, bjul. № 22
19. Pat. 2266682, Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 23 K 1/16. Sposob poluchenija kormovoj dobavki iz otrubej / A. G. Koshchaev, A. I. Petenko, O. V. Koshchaeva. Opubl. 27.12.05
20. Pat. 2268612, Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 23 K 1/14. Sposob poluchenija belkovoj dobavki iz goroha / A. G. Koshchaev, G. A. Plutakhin, A. I. Petenko, O. V. Koshchaeva, V. V. Tkachev. Opubl. 27.01.06
21. Pat. 2268613, Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 23 K 1/14. Sposob poluchenija belkovoj dobavki iz shrota / A. G. Koshchaev, G. A. Plutakhin, A. I. Petenko, O. V. Koshchaeva, V. V. Tkachev. Opubl. 27.01.06

22. Pat. 2276941, Rossiyskaya Federatsiya, MPK A 23 L 1/20. Sposob obrabotki semjan soi / A. G. Koshchaev. Opubl. 27.05.06
23. Patent 2171035, Rossiyskaya Federatsiya, MPK7 A 23 K 1/14. Sposob poluchenija kormovoj dobavki iz soka rastenij / A. G. Koshchaev, A. I. Petenko, G. A. Plutakhin. Opubl. 20.02.01, bjul. № 21
24. Petrushanko I. Ju. Neravnovesnye sostojanija jelektrohimičeski aktivirovannoj vody i ee biologičeskoj aktivnosti / I. Ju. Petrushanko, V. I. Lobyshev // Biofizika. – 2001. – T. 46(3). S. 389–401
25. Petrushanko I. Ju. Fiziko-himičeskie svojstva vodnyh rastvorov, poluchennyh v membrannom jelektrolizere / I. Ju. Petrushanko, V. I. Lobyshev // Biofizika, 2004. – T. 49(1). – S. 22–31
26. Plutakhin G. A. Biofizika, 2-e izd., pererab. i dop.: učeбноe posobie dlja studentov vysshih učeбnyh zavedenij / G. A. Plutakhin, A. G. Koshchaev. – SPb: Izdatelstvo «Lan», 2012. – 240 s
27. Plutakhin G. A. Biofizika: učeбноe posobie dlja studentov vysshih učeбnyh zavedenij / G. A. Plutakhin, A. G. Koshchaev. – Krasnodar: FGOU VPO «Kubanskij gos. agrarnyj un-t», 2010. – 264 s
28. Plutakhin G. A. Poluchenie belkovogo izoljata iz podsolnečnogo shrota s pomoshhju jelektroaktivatora / G. A. Plutakhin, A. G. Koshchaev, A. I. Petenko // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja. – 2005. – № 6. – S. 38–39
29. Plutakhin G. A. Jelektrotermičeskoe osazhdenie belkov rastitel'nogo soka / G. A. Plutakhin, A. G. Koshchaev, A. I. Petenko // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja. – 2004. – № 8. – S. 20
30. Poluchenie kormovogo belkovogo izoljata iz podsolnečnogo shrota / A. G. Koshchaev, G. A. Plutakhin, G. V. Fisenko, A. I. Petenko // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2009. – T. 1. – № 18. – S. 141–145
31. Sergunina L. A. Jeffektivnym metodom jelektroliza dlja obezzarazhivanija pit'evoj vode / L. A. Sergunina // Gigiena i sanitarija. – 1968. – T. 33(4). – S. 16–21
32. Jakimenko L. M. Jelektrodnye materialy v prikladnoj himii / L. M. Jakimenko // M.: Himija, 1977. – 264 s
33. Antimicrobial activity of superoxidized water / H. Tanaka, Y. Hirakata, M. Kaku, R. Yoshida, H. Takemura, R. Mizukane // Journal of Hospital Infection. – 1996. – V. 34(1). – P. 43–49.
34. Bahir V. Electrochemical activation: A strategy for creation of environmentally benign technologies / V. Bahir // Activated Water Moscow. – 1996. – V 1. – P. 1–7.
35. Bakhir V. M. Apparatus for electrochemical treatment of water and/or water solutions / V. M. Bakhir, J. G. Zadorozhny, T. Barabush // US Patent 5628888. – 1997.
36. Comparison of a solution of super-oxidized water (Sterilox) with glutaraldehyde for the disinfection of bronchoscopes, contaminated / A. M. Middleton, M. V. Chadwick, J. L. Sanderson, H. Gaya // The Journal of Hospital Infection. – 2000. – V. 45(4). – P. 278–282.
37. Disinfection potential of electrolyzed solutions containing sodium chloride at low concentrations / C. Morita, K. Sano, S. Morimatsu, H. Kiura, T. Goto, T. Kohno // Journal of Virological Methods. – 2000. – V. 85(2). – P. 163–174.
38. Dykstra C. E. External electric field effects on the water trimer / C. E. Dykstra // Chemical Physics Letters. – 1999. – V. (2)299. – P. 132–136.
39. Effect of electrolyzed water on wound healing / N. Yahagi, M. Kono, M. Kitahara, A. Ohmura, O. Sumita, T. Hashimoto // Artificial Organs. – 2000. – V. 24(12). – P. 984–987.

40. Electro-activated aqueous solutions: theory and application in the food industry and biotechnology / M. Aider, A. Kastyuchik, E. Gnatko, M. Benali, G. Plutakhin // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. – 2012. – V. 15. – P. 38–49.
41. Emergence of the science and technology of electroactivated aqueous solutions: Applications for environmental and food safety / E. N. Gnatko, V. I. Kravets, E. V. Leschenko, A. Omelchenko // *Environmental Security and Ecoterrorism*. – 2011.
42. Extremely high polarizability of hydrogen bonds / R. Janoschek, E. G. Weidemann, H. Pfeiffer, G. Zundel // *Journal of the American Chemical Society*. – 1972. – V. 94(7). – P. 2387–2396.
43. Fidaleo M. Electrodialysis applications in the food industry / M. Fidaleo, M. Moresi // *Advances in Food and Nutrition Research*. – 2006. – V. 51. – P. 265–360.
44. Hsu S. Y. Effects of storage conditions on chemical and physical properties of electrolyzed oxidizing water/ S. Y. Hsu, H. Y. Kao // *Journal of Food Engineering*. – 2004. – V. 65(3). – P. 465–471.
45. Hsu S. Y. Effects of water flow rate, salt concentration and water temperature on efficiency of an electrolyzed oxidizing water generator / Hsu S. Y. // *Journal of Food Engineering*. – 2003. – V. 60(4). – P. 469–473.
46. Inactivation of staphylococcal Enterotoxin-A with an electrolyzed anodic solution / T. Suzuki, J. Itakura, M. Watanabe, M. Ohta, Y. Sato, Y. Yamata // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – V. 50. – P. 230–234.
47. Installations and devices for ecologic safety at home, at work and in hospitals/ V. G. Shironosov, G. I. Shironosova, V. V. Minakov, V. B. Ivanov // *Abstracts of the XIII International Symposium «2003– International Year of Water», Austria*. – 2003.
48. Izumi H. Electrolyzed water as a disinfectant for fresh-cut vegetables/ H. Izumi // *Journal of Food Protection*. – 1999. – V. 64. – P. 536–539.
49. Kim C. Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens / C. Kim, Y. C. Hung, R. E. Brackett // *Journal of Food Protection*. – 2000. – V. 63. – P. 19–24.
50. Kirpichnikov P. A. On the nature of electrochemical activation of media / P. A. Kirpichnikov, V. M. Bakhir, P. U. Hamer // *Transactions of the Academy of Sciences of USSR*. – 1986. – V. 286. – P. 663–667.
51. Kloss A. I. Electron-radical dissociation and mechanism of water activation / A. I. Kloss // *Transactions of the Academy of Sciences of USSR*. – 1988. – V. 303. – P. 1403–1406.
52. Libbrecht K. G. Electrically induced morphological instabilities in free dendrite growth / K. G. Libbrecht, V. M. Tanusheva // *Physical Review Letters*. – 1998. – V. 81(1). – P. 176–179.
53. Moskovits M. A reinvestigation of the Raman spectrum of water / M. Moskovits, K. H. Michaelian // *Journal of Chemical Physics*. – 1978. – V. 69(6). – P. 2306–2311.
54. Prentice G. *Electrochemical engineering principles* / G. Prentice // Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice-Hall International. – 1991.
55. Shaposhnik V. A. An early history of electrodialysis with permselective membranes / V. A. Shaposhnik, K. Kesore // *Journal of Membrane Science*. – 1997. – V. 136(1–2). – P. 35–39.
56. Shimada K. A comparison of the bactericidal effects and cytotoxic activity of three types of oxidizing water, prepared by electrolysis, as chemical dental plaque control agents / K. Shimada, K. Ito, S. Murai // *International Journal of Antimicrobial Agents*. – 2000. – V. 15(1). – P. 49–53.

57. Shirahata S. Advanced research on the health benefit of reduced water / S. Shirahata, T. Hamasaki, K. Teruya // *Trends in Food Science & Technology*. – 2012. – V. 23(2). – P. 124–131.
58. Shironosov V. G. Non-contact electrochemical water activation experiments. Collection of abstracts of the 2-nd International Symposium Electrochemical activation in medicine, farming and industry / V. G. Shironosov, E. V. Shironosov // Moscow, VNIIMT AO NPO Screen, Part 1. – 1999. – P. 66–68.
59. Some factors influencing the stability of Sterilox[reg], a super-oxidised water / G. Rossi-Fedele, E. J. Dogramaci, L. Steier, J. A. P. Figueiredo // *British Dental Journal*. – 2011. – V. 210(12). – doi:10.1038/sj.bdj.2011.143. Online article # E23.
60. Stewart K. M. Physical Properties of Water / K. M. Stewart // *Encyclopedia of Inland Waters*. – 2009. – P. 148–154.
61. The cleaning and disinfecting of hemodialysis equipment using electrolyzed strong acid aqueous solution / N. Tanaka, T. Fujisawa, T. Daimon, K. Fujiwara, M. Yamamoto, T. Abe // *Artificial Organs*. – 1999. – V. 23(4). – P. 303–309.
62. The mechanism of low frequency a.c. electrochemical disinfection / G. E. Stoner, G. L. Jr. Cahen, M. Sachyani, E. Gileadi // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. – 1982. – V. 9(3). – P. 229–24.
63. Trial of electrolyzed strong acid aqueous solution lavage in the treatment of peritonitis and intraperitoneal abscess / Y. Inoue, S. Endo, K. Kondo, H. Ito, H. Omori, K. Saito // *Artificial Organs*. – 1997. – V. 21(1). – P. 28–31.
64. Vegiri A. Origin of the enhanced structural and reorientational relaxation rates in the presence of relatively weak dc electric fields / A. Vegiri // *Pure and Applied Chemistry*. – 2004. – V. 76. – P. 215–221.