

Некрасова Л.П., Михайлова Р.Н., Рыжова И.Н.

Влияние электрохимической обработки на физико-химические свойства воды

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва

Введение. В настоящее время существуют различные технологии водообработки и водоочистки, включающие помимо классических озонирование воды, обработку воды УФ-излучением, ионный обмен, омагничивание. Электрохимическая обработка воды постоянным электрическим током, при которой образуется активированная вода, характеризующаяся рядом аномальных свойств, является современным подходом в водоочистке и водообработке.

Цель исследования – изучение физико-химических свойств воды, активированной в устройствах разных производителей, имеющих различную конструкцию.

Материал и методы. Для активации воды использовали следующие портативные устройства: АП-1, Мелеста, Здрава, фильтр электрохимической очистки воды «Изумруд». Активность водородных ионов и окислительно-восстановительный потенциал воды измеряли с помощью иономера «Экотест-120» с коммутатором. Для измерения электропроводности растворов использовали кондуктометр «Эксперт-002». Определение свободного хлора проводили фотоколориметрическим методом на колориметре Spectroquant Multy. Антиоксидантную активность определяли спектрофотометрическим методом с использованием медиаторной системы ферро-феррицианида калия.

Результаты. Решающий вклад в изменение физико-химических характеристик анолита при активации воды вносят хлорид-ионы. Сульфаты и гидрокарбонаты не влияют на прооксидантную активность анолита. Релаксация католитов, полученных в мембранных активаторах, протекает путём постепенного увеличения ОВП, в то время как релаксация активированной воды в бездиафрагменном активаторе «Здрава» протекает в колебательном режиме и характеризуется резкими изменениями ОВП. Анолиты стабильны во времени и незначительно изменяют рН и ОВП при хранении. Активация некоторых типов вод в бездиафрагменном активаторе приводит не к понижению ОВП, а к его значительному росту.

Заключение. Электрохимически активированная вода – общий термин, за которым скрывается в каждом конкретном случае неизвестная субстанция с непредсказуемым эффектом. Использование стандартных устройств даже при использовании одной и той же пробы воды, как правило, приводит к различным физико-химическим характеристикам активированной воды. При использовании различных типов воды физико-химические характеристики отличаются значительно. Это обстоятельство объясняет разнонаправленные биологические эффекты и влияние на здоровье, полученные разными группами исследователей.

Ключевые слова: электрохимическая активация; окислительно-восстановительный потенциал; релаксация; антиоксидантная активность; католит; анолит.

Для цитирования: Некрасова Л.П., Михайлова Р.Н., Рыжова И.Н. Влияние электрохимической обработки на физико-химические свойства воды. Гигиена и санитария. 2020; 99 (9): 904-910. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-904-910>

Для корреспонденции: Некрасова Лариса Петровна, канд. хим. наук, вед. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенической оценки и прогнозирования токсичности веществ ФГБУ «ЦСП» ФМБА России. E-mail: laranekrasova@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № 056-00111-18-00 «Научное обоснование методологии оценки биологической эффективности и безопасности питьевых вод, полученных на основе новых физических технологий для применения их в целях профилактики метаболических нарушений и в качестве вспомогательного средства в комплексной терапии экологически обусловленных заболеваний».

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Некрасова Л.П., Михайлова Р.Н.; сбор и обработка материала – Некрасова Л.П., Рыжова И.Н.; статистическая обработка – Рыжова И.Н.; написание текста – Некрасова Л.П.; редактирование – Михайлова Р.Н.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила 30.06.2020

Принята к печати 18.09.2020

Опубликована 20.10.2020

Larisa P. Nekrasova, Rufina I. Mikhailova, Irina N. Ryzhova

Impact of the electrochemical treatment on physical and chemical properties of water activated in various devices using electrochemical activation technology

Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation

Introduction. Currently, there are various technologies for water treatment and water purification, including ozonation of water, water treatment with UV radiation, ion exchange, magnetization. Electrochemical treatment of water by direct electric current, in which activated water is formed, characterized by many anomalous properties, is a modern approach to water treatment and water treatment.

Purpose of the study. The study of the physicochemical properties of water-activated in devices of different manufacturers with different designs.

Material and methods. To activate the water, activators were used: AP-1, Melesta, Zdrava, the filter of electrochemical water purification “Izumrud”. The activity of hydrogen ions and the redox potential of water were measured using an Ecotest-120 ionomer with a switch. To measure the electrical conductivity of the solutions, an Expert-002 conductometer was used. Free chlorine was determined by the photocolorimetric method on a Spectroquant Multy colorimeter. Antioxidant activity was determined spectrophotometrically using a mediator system of potassium ferro-ferricyanide.

Results. Chloride ions make a decisive contribution to the change in the physicochemical characteristics of anolyte upon activation of water. Sulfates and bicarbonates do not affect the prooxidant activity of the anolyte. The relaxation of catholytes obtained in membrane activators proceeds by a gradual increase in ORP, while the relaxation of activated water in the Zdrava diaphragmless activator proceeds in an oscillatory mode and is characterized by sharp changes in ORP. Anolytes are stable over time and slightly change the pH and ORP during storage. The activation of certain types of water in a diaphragmless activator does not lead to a decrease in the ORP, but its significant growth.

Conclusion. Electrochemically activated water is a general term that hides in each case an unknown substance with an unpredictable effect. The use of standard devices even when using the same water sample, as a rule, leads to different physicochemical characteristics of activated water. When using different types of water, physicochemical characteristics differ significantly. The use of electrochemically activated water is unsafe.

Key words: electrochemical activation; redox potential; relaxation; antioxidant activity; catholyte; anolyte.

For citation: Nekrasova L.P., Mikhailova R.I., Ryzhova I.N. Impact of the electrochemical treatment on physical and chemical properties of water activated in various devices using electrochemical activation technology. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian Journal)*. 2020; 99 (9): 904-910. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-904-910> (In Russ.)

For correspondence: Larisa P. Nekrasova, MD, Ph.D., DSci. Leading Researcher, Laboratory of Ecological and Hygienic Assessment and Prediction of Toxicity of Substances of the Centre for Strategic Planning of FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: laranekrasova@gmail.com

Information about the authors:

Nekrasova L.P., <https://orcid.org/0000-0002-1269-3161>; Mikhailova R.I., <https://orcid.org/0000-0001-7194-9131>; Ryzhova I.N., <https://orcid.org/0000-0003-0696-5359>

Acknowledgment. The work was carried out as part of state assignment No. 056-00111-18-00 "Scientific substantiation of the methodology for assessing the biological effectiveness and safety of drinking water, obtained based on new physical technologies for their use in the prevention of metabolic disorders and as an aid in complex therapy environmentally related diseases".

Conflict of Interest. The authors of the article have no conflict of interest.

Contribution: Nekrasova L.P., – the concept and design of the study, collection and processing of material – Mikhailova R.I. – the concept and design of the study, editing. Ryzhova I.N. – collection and processing of material, statistical processing, writing the text. All authors approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article

Received: June 30, 2020

Accepted: September 29, 2020

Published: October 20, 2020

Введение

В настоящее время существуют различные технологии водообработки и водоочистки, включающие помимо классических озонирование воды, обработку воды УФ-излучением, ионный обмен, омагничивание [1]. Определённое применение в водообработке и водоочистке находит также электрохимическая обработка воды постоянным электрическим током, при которой образуется активированная вода, характеризующаяся рядом аномальных свойств [2, 3]. Активированные водные растворы нашли применение в сельском хозяйстве для повышения урожайности растений, в животноводстве, медицине, для обеззараживания воды и в бытовых целях [4, 5]. Электрохимическая обработка воды характеризуется эффективностью, устойчивостью, контролируемостью и удобным автоматическим регулированием процессов, а также простой конструкцией аппаратуры [4]. «Под электрохимической активацией систем понимают процесс перевода растворов в метастабильное состояние, вызванное структурно-энергетическими и электрохимическими изменениями в электрическом поле, в результате которых растворы в течение периода релаксации проявляют аномальные свойства в физико-химических превращениях» [6]. Электрохимическая активация (ЭХА) достигается в результате совокупности электрохимических и электрофизических воздействий на слабоминерализованные растворы и протекает в непосредственной близости к электродам в области двойного электрического слоя, где интенсивность электрофизического воздействия максимальна и напряжённость электрического поля достигает сотен тысяч вольт на сантиметр [7]. Процесс осуществляется, как правило, в устройствах, снабжённых диафрагмой, разделяющей катодное и анодное пространство. После ЭХА раствор вблизи катода (католит) насыщается водородом, становится щелочным и приобретает отрицательный окислительно-восстановительный потенциал (ОВП). Раствор вблизи анода (анолит) характеризуется низкими значениями рН, высокими положительными значениями ОВП и повышенным содержанием кислорода. Католит проявляет повышенную каталитическую и биологическую активность [2, 3, 6]. Отрицательные значения ОВП католита связывают с его антиоксидантными свойствами [2, 3], однако, ряд работ не подтверждает эту гипотезу [8–11].

Анолит на основе хлорида натрия имеет выраженные антисептические свойства и подавляет рост микроорганизмов [12, 13]. В качестве дезинфицирующего средства анолит нашёл широкое применение в медицине, промышленности и сельском хозяйстве [4, 5]. Появление у активированных растворов уникальных физико-химических свойств, в частности, повышенной каталитической и биологической активности стимулирует исследования в области создания электрохимических реакторов и активаторов, а также изучения свойств растворов и областей их возможного использования. В настоящее время рынок активаторов воды и электрохимических фильтров её очистки представлен моделями различного ценового диапазона и особенностей конструкции.

Применение католита (в зарубежной литературе – электрохимически восстановленная вода) выявило его положительное влияние на человека и животных при почечной недостаточности [14], диабете [15], ацидозе [16], а также в качестве нейропротектора [17]. О протекторном действии католита при облучении мышей смертельной дозой рентгеновского излучения сообщалось в [2, 3]. Наряду с положительными результатами использования ЭХА при лечении и профилактике отмечены также и неблагоприятные последствия её употребления, в частности, приём католита вызывал повреждение миокарда у крыс [18]. При 12-месячном потреблении бесконтактно активированных вод у крыс наблюдались повреждения печени, почки и толстой кишки [19]. Также отмечена индукция эффекта нестабильности генома человека [20]. Наблюдаемые эффекты получены разными авторами с использованием различных устройств для получения электрохимически активированной воды, что может быть связано с её различными свойствами.

Целью данной работы явилось исследование физико-химических свойств воды, активированной в устройствах разных производителей, имеющих разную конструкцию.

Материал и методы

Использовали следующие активаторы воды: АП-1 (Ак-ваприбор, Беларусь), Мелеста (Мелеста, Россия), Здрава (Дальприбор, Россия), фильтр электрохимической очистки воды «Изумруд» (НПП «Изумруд», С.-Петербург).

Таблица 1

Изменение электрохимических параметров воды и водных растворов при ЭХА в различных устройствах

Объект исследования	Активатор	Электропроводность, мкСм	pH	ОВП, мВ
Дистиллированная вода	—	2,78	5,53	300
Катодит дистиллированной воды	АП-1	100,6	11,33	–309
	Мелеста	40,7	10,53	–97
Анолит дистиллированной воды	АП-1	82,1	3,75	440
Водопроводная вода	—	450	7,65	238
Катодит водопроводной воды	АП-1	387	10,48	–440
	Мелеста	248	10,50	–402
Анолит водопроводной воды	АП-1	837	2,83	974
	Мелеста	765	2,76	1037

АП-1 представляет собой мембранный электролизер. В качестве диафрагмы используется керамический стакан, который помещается в пластиковую ёмкость вместимостью 0,9 дм³. Катодит образуется в пластиковой ёмкости, анолит — в керамическом стакане. Объём получаемого анолита 0,3 дм³. В приборе используются 2 катода из пищевой нержавеющей стали и 2 анода из электрохимически устойчивого материала, защищённых специальным стойким покрытием (состав не раскрывается).

Мелеста выполнена в виде пластиковой ёмкости с перегородкой, изготовленной из тканого материала неизвестного состава. В крышку активатора встроены 2 электрода (состав материала электродов производителем не указывается).

Активатор «Здрава» является бездиафрагменным электролизером вместимостью 3 дм³. В центре ёмкости расположен анод, выполненный в виде стержня, катодом является внутренняя поверхность корпуса активатора. Сведений о материалах, из которых изготовлены электроды, нет. Активатор работает в режиме слабой и сильной активации.

Фильтр электрохимической очистки «Изумруд» предназначен для получения питьевой воды с отрицательным ОВП. Активация и очистка воды происходят в реакторах проточного типа. Электроды изготовлены из высококачественного титана с покрытием из благородных металлов платины и иридия.

Активность водородных ионов и ОВП воды измеряли с использованием иономера «Экотест-120» с коммутатором и «Экотест-2000» (НПП «Эконикс», Москва). Для измерения pH использовали ионселективный стеклянный электрод с твёрдым контактом «ЭКОМ-pH». ОВП измеряли с использованием высокотемпературного платинового электрода ЭПВ-1СР. В качестве электрода сравнения для измерения pH и ОВП служил вспомогательный хлорсеребряный электрод ЭВЛ-1М3.1 (потенциал относительно нормального водородного электрода при 20 °С 201 ± 3 мВ). Для измерения электропроводности растворов использовали кондуктометр «Эксперт-002» (НПО «Эконикс-Эксперт», Москва) с датчиком УЭП-Н-С наливного типа, постоянная ячейки 0,5721 см⁻¹. Определение свободного хлора проводили фотоколориметрическим методом на колориметре Spectroquant Multy (Merck, Германия). Спектры поглощения и оптическую плотность растворов регистрировали на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония) в кюветках с толщиной поглощающего слоя 1 см. Антиоксидантную активность определяли спектрофотометрическим методом с использованием медиаторной системы ферро-феррицианида калия [10].

Объектами активации являлись: вода из системы централизованного водоснабжения, вода природных источников, вода, расфасованная в ёмкости различных торговых марок, дистиллированная вода, разбавленные водные растворы хлорида калия, сульфата магния и гидрокарбоната натрия с общей минерализацией 0,1–0,5 мг/дм³.

Результаты

Активаторы АП-1 и Мелеста представляют собой диафрагменные электролизеры. При активации в них водопроводной воды в режимах, рекомендованных руководством по эксплуатации, получены близкие параметры обработанной воды (табл. 1). Однако проведение активации водопроводной воды в течение одинакового временного интервала приводило к большому разбросу величин ОВП активированной воды, в то время как значения pH изменялись незначительно. Абсолютные изменения pH для катодита и анолита по сравнению с исходной водой составили 2,5–3 ед. pH и 4,5–5 ед. соответственно. Электропроводность катодита водопроводной воды по сравнению с исходной водой уменьшалась, а анолита — увеличивалась. При активации дистиллированной воды в АП-1 наблюдалось значительное увеличение электропроводности катодита и анолита. Причиной увеличения электропроводности катодита дистиллированной воды является вымывание ионов из керамического стакана, которое происходило и в отсутствие электрохимического воздействия, однако в этом случае электропроводность дистиллированной воды увеличивалась до 30–40 мкСм. Изменения pH катодита дистиллированной воды по сравнению с необработанной пробой составляли 5,5–6 ед. pH, анолита — 1,5–2 ед. pH. Процессы релаксации катодита и анолита, полученные в АП-1 и Мелеста, протекали аналогично. Катодит и анолит плавно релаксировали к равновесным значениям в течение длительного времени.

Активатор «Здрава» является бездиафрагменным электролизером и имеет ряд особенностей, поэтому с использованием этого активатора выполнен большой объём исследований. Активацию в «Здраве» проводили в режиме слабой и сильной активации в условиях минимального (0,5 дм³) и максимального (3 дм³) заполнения ёмкости, а также бесконтактной ЭХА различных образцов воды в течение 1 ч. Для выяснения стабильности физико-химических характеристик активированной воды измерения проводили с использованием воды природного источника, характеризующейся постоянством состава. Для каждого режима обработки проведено 5–10 экспериментов. Отмечены следующие особенности. Активация воды малого объёма в режиме слабой активации приводила к заметно большему сдвигу ОВП, чем при использовании сильной активации (равные объёмы), что не соответствует руководству по эксплуатации прибора. При полностью заполненном активаторе наблюдалась обратная зависимость (табл. 2). Несмотря на то что ОВП воды при активации изменялся в пределах 300–900 мВ, изменения pH лежали в интервале от минус 0,5 до плюс 0,5 ед. pH.

Даже стандартные условия процесса не позволили обеспечить воспроизводимые результаты активации: в течение одного дня при использовании одной и той же воды наблюдали различия в электрохимических параметрах активированной воды. В табл. 2 представлены максимально отличающиеся друг от друга результаты. Самые большие и примерно одинаковые сдвиги ОВП наблюдали для воды при максимальном заполнении активатора в режиме сильной активации (P1) и при минимальном заполнении в режиме слабой активации (P4). Для сдвигов pH воды таких закономерностей не выявлено, сдвиги pH не коррелировали со сдвигами ОВП.

Активацию других типов воды проводили при минимальном заполнении активатора — 0,5 л в режиме сильной (P2) и слабой (P4) активации. Если при активации воды из при-

Таблица 2

Изменение электрохимических параметров воды природного источника при ЭХА в активаторе «Здрава»

Режим активации	Исходная вода		Активированная вода		ΔрН	ΔОВП, мВ
	рН	ОВП, мВ	рН	ОВП, мВ		
P1	7,06	331	7,05	-534	0,01	865
P1	7,33	298	7,05	-260	0,28	558
P2	7,19	357	7,64	40	-0,45	317
P2	7,04	294	7,27	-202	-0,23	496
P3	7,28	335	7,07	6	0,21	329
P3	7,45	305	7,08	-122	0,37	427
P4	7,01	327	7,12	-566	-0,11	893
P4	7,04	294	7,11	-409	-0,07	703
P5	7,06	331	7,38	-96	-0,32	427
P5	7,06	331	7,61	128	-0,55	203

Примечание. ΔрН = рН_{исх.} - рН_{акт.}; ΔОВП = ОВП_{исх.} - ОВП_{акт.}; P1 - сильная активация, 3 дм³; P2 - сильная активация, 0,5 дм³; P3 - слабая активация, 3 дм³; P4 - слабая активация, 0,5 дм³; P5 - бесконтактная активация, 0,1 дм³.

родного источника отмечены небольшие изменения рН, то при активации бутилированной воды 1 наблюдали заметное увеличение рН: 1,0 и 1,2 ед. соответственно, и уменьшение рН на 1,7 ед. для бутилированной воды 2 в режиме сильной активации. Для всех остальных исследованных образцов сдвиг рН находился в пределах от -0,24 до +0,62 мВ. Отмечены отдельные случаи отсутствия эффекта активации, а также повышения ОВП бутилированной воды 2 более чем на 500 мВ (табл. 3). Проведённые исследования показали, что физико-химические характеристики активированной воды зависят от режима активации, объёма воды в активаторе, времени активации, химического состава исходной воды и, возможно, иных неконтролируемых параметров, в связи с чем не поддаются прогнозированию. Вероятно, на процесс активации оказывает значительное влияние релаксация заряда на самих электродах, который остаётся после выключения электролизеров в течение нескольких часов [21]. Можно предположить, что на результат активации также оказывают влияние изменение поверхности электродов в процессе эксплуатации и космофизические факторы.

Следует отметить, что при проведении ЭХА органолептические свойства обрабатываемой воды, как правило, ухудшались. Для отдельных типов вод было характерно появление резкого запаха хлора, который ослабевал по мере хранения воды в открытой посуде. Определение концентрации свободного хлора в водопроводной воде обнаружило следующую динамику содержания свободного хлора. В исходной воде 0,13 мг/дм³, в очищенной с помощью бытового фильтра «Гейзер» - 0,07 мг/дм³. После активации очищенной воды в течение 1 ч в режиме слабой ионизации содержание свободного хлора возросло до 0,64 мг/дм³, а спустя 30 мин после активации составило 0,20 мг/дм³. Измерение электропроводности воды до и после активации не выявило заметных изменений, что свидетельствует о сохранении постоянства солевого состава. Разница этого показателя до и после активации составляла приблизительно 5-40 мкСм. Однако спустя сутки после активации наблюдалось значительное увеличение электропроводности. Увеличение электропроводности воды является следствием химических превращений в системе, инициированных электрическим током.

Полученные активированные растворы очень неустойчивы. Относительное постоянство значений ОВП наблюдали в течение 30-60 мин. По истечении этого времени начинался

Таблица 3

Изменения электрохимических параметров различных типов вод при её ЭХА (объём активированной пробы 0,5 л) и релаксации полученной активированной воды

Образец	Исходная вода		Активированная вода		После релаксации	
	рН	ОВП, мВ	рН	ОВП, мВ	рН	ОВП, мВ
Источник 1 (P4)	7,4	320	7,15	-540	7,95	695
Источник 1 (P2)	7,21	329	7,36	-53	8,17	214
Источник 2 (P4)	8,77	240	8,73	287	-	-
Источник 2 (P2)	8,11	260	8,35	-305	8,58	197
Бутилированная 1 (P4)	7,98	267	9,23	-331	8,80	505
Бутилированная 2 (P4)	6,92	335	6,3	-9	6,95	858
Бутилированная 2 (P4)	6,90	347	6,87	862	-	-
Бутилированная 2 (P2)	6,90	347	5,17	346	-	-
Водопроводная (P4)	7,33	297	7,46	-338	8,11	192
Водопроводная (P2)	7,45	305	7,51	-64	8,2	205

процесс релаксации, который характеризовался резкими изменениями ОВП во времени, что было отличительной особенностью воды, активированной в «Здраве». Релаксация активированной воды происходила в колебательном режиме и завершалась в течение 16-24 ч. Спустя сутки после активации растворы, оставленные открытыми, приходили к новым значениям ОВП. Для некоторых типов воды наблюдалось резкое увеличение значений ОВП до 600-850 мВ, которое сохранялось в последующие 3-5 дней. Затем, как правило, происходило медленное уменьшение ОВП.

В табл. 3 представлены значения ОВП для исходной, активированной и релаксированной воды разных типов. Как видно из представленных в таблице данных, ОВП релаксированной воды колеблется в широких пределах.

Для сравнения проведены измерения ОВП католи-та, полученного в проточном фильтре электрохимической очистки «Изумруд». Вода из фильтра отличалась хорошими органолептическими свойствами. Параметры воды сильно зависели от расхода воды и плохо поддавались регулировке. рН полученной в этой установке воды часто характеризовался высокими значениями, превышающими значения, установленные СанПин 2.1.4.1074-01 для питьевой воды. В процессе хранения на открытом воздухе наблюдалось плавное увеличение ОВП, что согласуется с данными работы [2]. Период сохранения активированного состояния для воды, полученной в «Изумруде», был самым длительным из всех опробованных устройств. При кипячении активированной воды отрицательный ОВП сохранялся, в то время как при фильтровании активированной воды через бытовой фильтр «Барьер» ОВП воды приобретал значение, близкое к исходному. Это указывает на то, что измеряемый на гладком платиновом электроде ОВП обусловлен поверхностным зарядом воды [21] и не связан с наличием восстановительных свойств католи-та в химических реакциях [22].

Природная и питьевая вода в качестве постоянных анионов содержит хлориды, сульфаты и гидрокарбонаты. С целью выявления влияния этих анионов на ЭХА проведены эксперименты по ЭХА водных растворов хлорида калия, гидрокарбоната натрия и сульфата магния. Концентрацию солей выбирали в соответствии с таковой в питьевых и природных водах. В реках Российской Федерации концентрация хлоридов колеблется в пределах 3-170 мг/дм³, гидрокарбонатов 20-270 мг/дм³, сульфатов 4-160 мг/дм³ [23].

Таблица 4

Изменение физико-химических характеристик растворов электролитов при ЭХА

Объект исследования	Активатор	pH	ОВП, мВ	Электропроводность, мкСм	АОА, моль-экв./дм ³
NaHCO ₃ , 0,006 М	—	—	—	—	0
Катодит	Мелеста	10,97	–374	827	0
Анолит	Мелеста	320	422	422	0
MgSO ₄ , 0,0035 М	—	—	—	679	0
Катодит	Мелеста	10,68	–261	680	3·10 ^{–6}
анодит	Мелеста	2,72	455	1416	0
KCl 0,0044 М	—	—	—	675	0
Катодит	АП–1	12,63	–845	1180	0
Анолит	АП–1	2,72	1177	2755	1,4·10 ^{–3}
KCl 0,0021 М	—	—	—	337	0
Катодит	АП–1	12,59	–856	1120	0
Анолит	АП–1	2,59	1197	2085	6,2·10 ^{–4}
KCl 0,005 М	—	—	—	748	0
Катодит	Мелеста	12,22	–415	1019	—
Анолит	Мелеста	2,87	1114	1294	—

При электролизе хлоридов натрия и калия в электролизере с полупроницаемой перегородкой образующийся в анодном пространстве анолит приобретает высокий положительный потенциал и низкие значения pH. Ранее авторами были определены значения антиоксидантной активности (АОА) катодита и анолита водопроводной воды [10]. Показано, что катодит не обнаруживает АОА, в то время как АОА анолита соответствует концентрации присутствующих в нём окислителей, образующихся при электролизе водопроводной воды [10]. Растворы солей обрабатывали в активаторах АП-1 и Мелеста, время активации составляло 40 и 10 мин соответственно. Установлено, что катодит и анолит гидрокарбоната натрия, катодит хлорида калия и анолит сульфата натрия не проявляют антиоксидантной активности, катодит сульфата магния проявляет слабые антиоксидантные свойства, а прооксидантные свойства хлорида калия имеют высокие значения (табл. 4). Исходя из значений АОА анолитов хлорида калия, степень превращения соли в электрохимической реакции составляет примерно 30%.

Обсуждение

Полезные свойства активированной воды связывают с отрицательным значением ОВП [2, 3]. Чрезвычайно высокие значения ОВП, приобретаемые отдельными видами вод как при активации, так и релаксации, вызывают определённую насторожённость, поскольку процессы самоорганизации белка из воды с тенденцией к высоким ОВП при релаксации протекают с нарушением ракушечных структур, характерных для самоорганизации белка в норме [24]. Изучение действия катодита и анолита на рост корней черенков традесканции зелёной, развитие ряски и на спонтанную двигательную активность инфузорий (*Spirostomum ambiguum*) выявило стимулирующее действие анолита дистиллированной воды на развитие этих объектов [8], в то время как анолит растворов хлорида натрия оказывал угнетающее действие на биологические виды [25]. Разнонаправленное действие электрохимически восстановленной воды также требует осторож-

ности при её использовании. Исследования биологического действия и наблюдения в клинической практике проводили различные группы авторов с использованием устройств различного типа, при этом свойства полученных растворов не были идентичными.

Особого внимания заслуживают результаты, полученные с использованием бесконтактно активированной воды [19, 20, 26]. Несмотря на то что изменения химического состава воды не происходило, а изменения ОВП не были столь значительны, как в случае с контактной ЭХА, получены статистически значимые результаты влияния ЭХА на животных, причём это влияние было негативным как при использовании катодита, так и анолита. Электрохимически восстановленная вода проявляла высокую активность по утилизации активных форм кислорода в клетках НТ-1080 по сравнению с водой, содержащей эквивалентную концентрацию водорода [11]. В то же время тесты с использованием хемилюминисценции и 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила не обнаружили у этой воды антиоксидантной активности. Авторы предположили, что на поглощение активных форм кислорода в клетках влияют наночастицы серебра, образующиеся в активированной воде из материала электрода. Показано, что в активированной воде образуется целый ряд короткоживущих радикалов, рекомбинация которых приводит к образованию перекиси водорода [27]. В работе [28] установлено отсутствие стимулирующего эффекта перекиси водорода, образующейся в катодитах и анолитах, на рост клеток *E. coli*. Показано, что величина ОВП катодита не коррелирует с его биологической активностью [29]. Обнаружено, что скорость пероксидазного окисления о-фенилендиамина не зависит от ОВП реакционной среды в интервале от минус 190 до плюс 270 мВ, а при дальнейшем его понижении происходит резкое падение скорости реакции [30]. Исследователи [21] полагают, что ОВП электрохимически активированных растворов обусловлен объёмным зарядом, сохраняющимся в них после ЭХА. В пользу данного положения свидетельствуют явление электризации жидкостей [31], явление бесконтактной химической активации [2], мешающие влиянию отрицательного ОВП при определении АОА потенциометрическим методом [10], а также потеря заряда катодитом при фильтрации.

Заключение

Электрохимически активированная вода — общий термин, за которым скрывается в каждом конкретном случае неизвестная субстанция с непредсказуемым эффектом. Применение стандартных устройств даже при использовании одной и той же пробы воды, как правило, приводит к различным физико-химическим характеристикам активированной воды. При использовании различных типов воды физико-химические характеристики отличаются значительно. Активация некоторых типов вод в бездиафрагменном активаторе приводит не к понижению ОВП, а к его значительному росту. Окислительные свойства анолита обусловлены хлорид-ионами. Сульфаты, гидрокарбонаты и фосфаты не влияют на прооксидантную активность анолита. Катодиты гидрокарбоната натрия и хлорида калия не проявляют антиоксидантной активности. Разнонаправленные биологические эффекты на живых организмах, наблюдаемые разными группами исследователей, с большой вероятностью обусловлены различными физико-химическими характеристиками электрохимически восстановленной воды, использованной в экспериментах. Предлагаемые активаторы не являются медицинскими изделиями и изготовлены из материалов, не имеющих строгой регламентации. В связи с этим существует дополнительная опасность химического загрязнения в процессе эксплуатации этих устройств. Применение электрохимически активированной воды является небезопасным.

Литература

(п.п. 8, 11, 12, 14–18, 25, 28 см. References)

1. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.Н. Состояние и тенденции развития технологий обеззараживания воды для питьевых целей. *Актуальные вопросы транспортной медицины*. 2009; (1): 86–8.
2. Прилуцкий В.И., Бахир В.М. *Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия*. М.: Экран; 1997.
3. Леонов Б.И., Прилуцкий В.И., Бахир В.М. *Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды*. М.; 1999.
4. Бахир В.М. *Электрохимическая активация. Изобретения, техника, технология*. М.: Дельфин Аква; 2014.
5. Погорелов А.Г., Бахир В.М., Ипатова Л.Г., Погорелова М.А., Левачева М.А. *Прогрессивная электрохимия и функциональная микроскопия биоструктур в агропищевых и биотехнологиях*. М.: Франтера; 2018.
6. Кирпичников П.А., Бахир В.М., Гамер П.У., Добренков Г.А., Лиакумович А.Г., Фридман Б.С. и соавт. О природе электрохимической активации сред. *Доклады Академии наук СССР*. 1986; 286(3): 66–7.
7. Томилов А.П. Электрохимическая активация – новое направление прикладной электрохимии. *Жизнь и безопасность*. 2002; (3): 302–7.
9. Некрасова Л.П. Необычные свойства некоторых бесконтактно активированных растворов. *Успехи современного естествознания*. 2013; (4): 87–92.
10. Некрасова Л.П., Михайлова Р.И., Рыжова И.Н. Определение антиоксидантной активности электрохимически активированной воды потенциометрическим и спектрофотометрическим методами. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016; (5): 559–63.
13. Погорелов А.Г., Кузнецов А.Л., Погорелова В.Н., Суворов О.А., Панаит А.И., Погорелова М.А. Разрушение бактериальной плёнки электрохимически активированным водным раствором. *Биофизика*. 2019; 64(4): 583–7.
19. Беляева Н.Н., Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Савостикова О.Н., Гасимова З.М., Каменецкая Д.Б. и соавт. Воздействие 12-месячного потребления вод, полученных с использованием неконтактной активации после электрохимической обработки, на морфофункциональные показатели печени, почки и толстой кишки крыс. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(6): 26–9.
20. Зацепина О.Н., Ингель Ф.И. Индукция эффектов нестабильности генома человека под действием неконтактно (электрохимически) активированных вод *in vitro*. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(3): 233–41. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-233-241>
21. Бондаренко Н.Ф., Гак Е.З., Шапкин М.П. Некоторые особенности свойств водных растворов при обработке их методом электрохимической активации. *Электронная обработка материалов*. 2001; (6): 50–60.
22. Некрасова Л.П. Проблемы измерения и интерпретации окислительно-восстановительного потенциала активированных вод. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013; 11(2): 13–8.
23. Горонковский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. *Краткий справочник по химии*. Киев: Наукова думка; 1974.
24. Некрасова Л.П. Физико-химические свойства воды, активированной в электролизере бездиафрагменного типа. *Сознание и физическая реальность*. 2012; 17(8): 7–14.
26. Сычева Л.П., Савостикова О.Н., Михайлова Р.И., Юрченко В.В., Кривцова Е.К., Алексеева А.В. и соавт. Изучение шестимесячного воздействия на крыс неконтактно электрохимически активированных вод с использованием полиорганокарбиологического теста. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(6): 87–91.
27. Клосс А.И. Электрон-радикальная диссоциация и механизм активации воды. *Доклады Академии наук СССР*. 1988; 303(6): 1403–7.
29. Мирошников А.И. Причина активности растворов после электрохимической обработки. Роль хлоридов и окислительно-восстановительного потенциала. *Вода: химия и экология*. 2012; (12): 104–10.
30. Некрасова Л.П., Ершова М.Л. Влияние бесконтактной электрохимической активации на водные растворы некоторых белков. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015; (5): 452–6.
31. Маргулис М.А., Пильгунов В.Н. Свечение и электризация при течении диэлектрических жидкостей в узком канале. *Журнал физической химии*. 2009; 83(8): 1414–8.

References

1. Rakhmanin Yu.A., Mikhaylova R.N. Status and development trends of water disinfection technologies for drinking purposes. *Aktual'nye voprosy transportnoy meditsiny*. 2009; (1): 86–8. (in Russian)
2. Prilutskiy V.I., Bakhir V.M. *Electrochemically Activated Water: Abnormal Properties, Biological Mechanism of Action [Elektrokhimicheski aktivirovannaya voda: anomal'nye svoystva, mekhanizm biologicheskogo deystviya]*. Moscow: Ekran; 1997. (in Russian)
3. Leonov B.I., Prilutskiy V.I., Bakhir V.M. *Physico-Chemical Aspects of the Biological Effects of Electrochemically Activated Water [Fiziko-khimicheskie aspekty biologicheskogo deystviya elektrokhimicheski aktivirovannoy vody]*. Moscow; 1999. (in Russian)
4. Bakhir V.M. *Electrochemical Activation. Inventions, Techniques, Technology [Elektrokhimicheskaya aktivatsiya. Izobreteniya, tekhnika, tekhnologiya]*. Moscow: Del'fin Akva; 2014. (in Russian)
5. Pogorelov A.G., Bakhir V.M., Ipatova L.G., Pogorelova M.A., Levacheva M.A. *Progressive Electrochemistry and Functional Microscopy of Biostructures in Agri-Food and Biotechnology [Progressivnaya elektrokhimiya i funktsional'naya mikroskopiya biostруктур v agropishchevykh i biotekhnologiyakh]*. Moscow: Frantera; 2018. (in Russian)
6. Kirpichnikov P.A., Bakhir V.M., Gamer P.U., Dobren'kov G.A., Liakumovich A.G., Fridman B.S., et al. On the nature of electrochemical activation of media. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1986; 286(3): 66–7. (in Russian)
7. Tomilov A.P. Electrochemical activation is a new direction in applied electrochemistry. *Zhizn' i bezopasnost'*. 2002; (3): 302–7. (in Russian)
8. Petrushanko I.Yu., Lobyshev V.I. Physicochemical properties of aqueous solutions obtained in a membrane electrolyzer. *Biophysics*. 2004; 49(1): 22–31.
9. Nekrasova L.P. Unusual properties of some-contact activated solutions. *Uspеkhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2013; (4): 87–92. (in Russian)
10. Nekrasova L.P., Mikhaylova R.I., Ryzhova I.N. Determination antioxidant activity of electrochemically activated water using potentiometric and spectrophotometric method. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; (5): 559–63. (in Russian)
11. Hamasaki T., Harada G., Nakamichi N., Kabayama S., Teruya K., Fugetsu B., et al. Electrochemically reduced water exerts superior reactive oxygen species scavenging activity in HT1080 cells than the equivalent level of hydrogen-dissolved water. *PLoS One*. 2017; 12(2): e0171192. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171192>
12. Cloete T.E., Thantsha M.S., Maluleke M.R., Kirkpatrick R. The antimicrobial mechanism of electrochemically activated water against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* as determined by SDS-PAGE analysis. *J. Appl. Microbiol.* 2009; 107(2): 379–84. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04233.x>
13. Pogorelov A.G., Kuznetsov A.L., Pogorelova V.N., Suvorov O.A., Panait A.I., Pogorelova M.A. Destruction of a bacterial biofilm with an electrochemically activated solution. *Biophysics*. 2019; 64(4): 583–7. <https://doi.org/10.1134/S000635091904016X>
14. Huang K.C., Hsu S.P., Yang C.C., Ou-Yang P., Lee K.T., Morisawa S., et al. Electrolysed-reduced water dialysate improves T-cell damage in end-stage renal disease patients with chronic haemodialysis. *Nephrol. Dial. Transplant.* 2010; 25(8): 2730–7. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfq082>
15. Kim M.J., Kim H.K. Anti-diabetic effects of electrolysed reduced water in streptococci-induced and genetic diabetic mice. *Life Sci.* 2006; 79(24): 2288–92. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2006.07.027>
16. Abo-Enein H., Gheith O.A., Barakat N., Nour E., Sharaf A.E. Ionized alkaline water: new strategy for management of metabolic acidosis in experimental animals. *Ther. Apher. Dial.* 2009; 13(3): 220–4. <https://doi.org/10.1111/j.1744-9987.2009.00659>
17. Yan H., Kashiwaki T., Hamasaki T., Kinjo T., Teruya K., Kabayama S., et al. The neuroprotective effects of electrolyzed reduced water and its model water containing molecular hydrogen and Pt nanoparticles. *BMC Proc.* 2011; 5(Suppl. 8): 69. <https://doi.org/10.1186/1753-6561-5-S8-P69>
18. Watanabe T., Shirai W., Pan I., Fukuda Y., Murasugi E., Sato T., et al. Histopathological influence of alkaline ionized water on myocardial muscle of mother rats. *J. Toxicol. Sci.* 1998; 23(5): 411–7. <https://doi.org/10.2131/jts.23.5.411>
19. Belyaeva N.N., Rakhmanin Yu.A., Mikhaylova R.I., Savostikova O.N., Gasimova Z.M., Kamenetskaya D.B., et al. Influence of 12-month consumption of water obtained by means of noncontact activation after electrochemical treatment on morphofunctional indices of cells of liver, kidney and colon in rats. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(6): 26–9. (in Russian)
20. Zatssepina O.N., Ingel' F.I. Changing of physico-chemical parameters of non-contact (electrochemical) activated drinking water is associated with induction of genomic instability of cultivated human blood lymphocytes. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(3): 233–41. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-233-241> (in Russian)
21. Bondarenko N.F., Gak E.Z., Shapkin M.P. Some features of the properties of aqueous solutions during their processing by electrochemical activation. *Elektronnaya obrabotka materialov*. 2001; (6): 50–60. (in Russian)

22. Nekrasova L.P. Problems of measuring and interpretation of oxidation-reduction potential of activated waters. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2013; 11(2): 13–8. (in Russian)
23. Goronovskiy I.T., Nazarenko Yu.P., Nekryach E.F. *A Quick Reference to Chemistry [Kratkiy spravochnik po khimii]*. Kiev: Naukova dumka; 1974. (in Russian)
24. Nekrasova L.P. Physico-chemical properties of water activated in a non-diaphragm type electrolyzer. *Soznanie i fizicheskaya real'nost'*. 2012; 17(8): 7–14. (in Russian)
25. Petrushanko I.Yu., Lobyshev V.I. Nonequilibrium state of electrochemically activated water and its biological activity. *Biophysics*. 2001; 46(3): 389–401.
26. Sycheva L.P., Savostikova O.N., Mikhaylova R.I., Yurchenko V.V., Krivtsova E.K., Alekseeva A.V., et al. The study of the impact of six-month non-contact electrochemically activated water in rats with the use of multi-organ karyological test. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(6): 87–91. (in Russian)
27. Kloss A.I. Electron-radical dissociation and water activation mechanism. *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1988; 303(6): 1403–7. (in Russian)
28. Miroshnikov A.I., Bruskov V.I., Masalimov Zh.K. Concentration of hydrogen peroxide in electrochemically activated solutions and study of its effect on *Escherichia coli* growth. *Biophysics*. 2004; 49(1): 32–7.
29. Miroshnikov A.I. Cause of solution activity after electrochemical treatment and role of chlorides and oxidation-reduction potential. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2012; (12): 104–10. (in Russian)
30. Nekrasova L.P., Ershova M.L. Effect of noncontact electrochemical activation on water solutions of some proteins. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2015; (5): 452–6. (in Russian)
31. Margulis M.A., Pilgunov V.N. Luminescence and electrification in a flow of dielectric liquids through narrow channels. *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2009; 83(8): 1414–8. <https://doi.org/10.1134/S0036024409080287>