

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

*Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН,
пр. Гражданский, 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Россия*

Введение

Метод электрохимической активации (ЭХА) служит примером непосредственного применения электричества в технологических процессах, биологии и медицине, о котором неоднократно упоминал Б.Р. Лазаренко [1]. Возможность получения в электролизерах с разделительной полупроницаемой диафрагмой жидкостей с различными свойствами на основе как природных вод, так и специально приготовленных растворов привлекает в течение ряда лет как практиков, так и исследователей различного профиля [2–15]. К сожалению, до последнего времени многие физико-химические процессы, связанные с прохождением тока через подобную электрохимическую систему, и, особенно после его отключения, недостаточно ясны. Неоднократно отмечалось и об отсутствии существенных отличий свойств фракций от обычно используемых кислот и щелочей.

Методика

Для лабораторных исследований были разработаны и изготовлены несколько типов электролизеров, или, пользуясь принятым в этой области термином – электроактиваторов. На рис. 1 и 2 приведены два типа электроактиваторов для работы в стационарном режиме, а на рис. 3 – в протоке. На рис. 1,а приведен внешний вид, а на рис. 1,б – схема конструкции малогабаритного аксиального электроактиватора с объемом секций по 50 мл. Диафрагма выполнена из фильтровальной бумаги (50 слоев), а электроды – из титановой фольги. На рис. 2,а приведена фотография, а на рис. 2,б конструкция электроактиватора с прямоугольными камерами на 800 мл. Мембрану изготовляли из катионитовой ткани, выпускаемой промышленностью, типа МК, электроды изготовлены из титана. Общий вид проточного электроактиватора цилиндрической формы приведен на рис. 3,а. Там же можно видеть вставку из диэлектрика, позволяющую при необходимости существенно увеличивать объем обрабатываемой жидкости. На рис. 3,б приведена его конструкция. В каждом из отсеков предусмотрены входные и выходные патрубки. Аноды изготовлялись из графита или углеродной ткани [16], а катоды – из стали. Были выполнены и другие конструкции, в частности с графитовыми электродами производительностью до 100 л/час и более. Для создания равномерного потока через электролизер использовали перистальтические насосы различной производительности от 4 до 100 л/час. Обычная схема подобного эксперимента приведена на рис. 4. В работе использовали стандартные стабилизированные источники постоянного тока, а для больших токов (до 50 А) были изготовлены специальные источники питания. Обрабатывали следующие жидкости: дистиллированную и водопроводную воду (Санкт-Петербург), растворы Na_2SO_4 и NaNO_3 концентрацией от 0,5 до 15%, растворы морской соли, приготовленные на дистилляте (0,5%, аптечная упаковка, соль Черного моря), раствор, имитирующий по составу воду Мертвого моря (Израиль). Так как соленость его очень высока, то, согласно [17], готовили растворы концентрацией 260 г/л (26%) из двух основных компонентов: MgCl_2 – 135,2 г/л и NaCl – 78 г/л. Измерения рН и окислительно-восстановительного потенциала (редокс-потенциала Eh) проводили на стандартной аппаратуре (рН–метры со стеклянными и платиновыми электродами и электродами сравнения). Измерения проводились непосредственно после разделения фракций в отдельные емкости и в последующий период. Временные интервалы измерений видны на рис. 5–8. Герметизация фракций не проводилась. Температуры контрольных растворов и фракций поддерживалась постоянными. Изучалось также наличие перекиси H_2O_2 по методике, приведенной в [9].

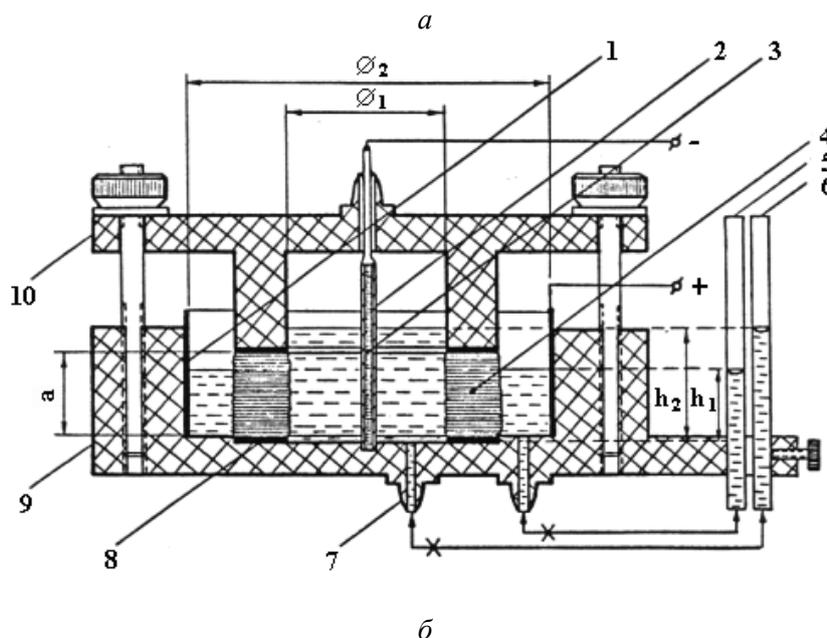
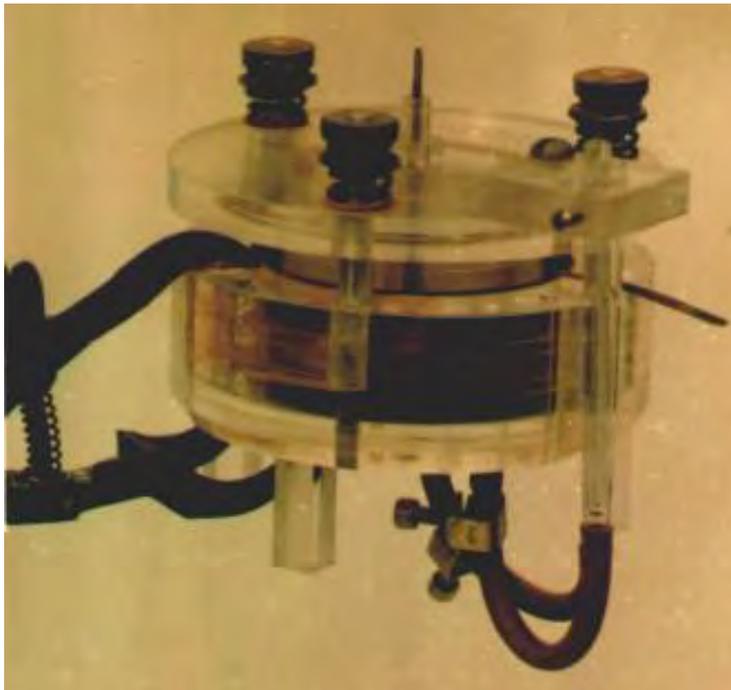
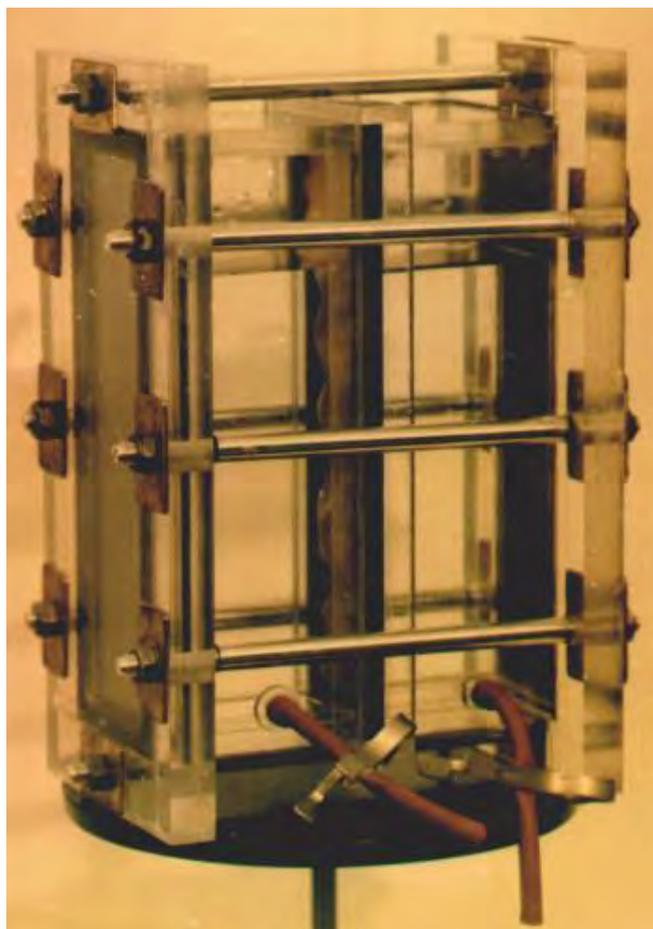
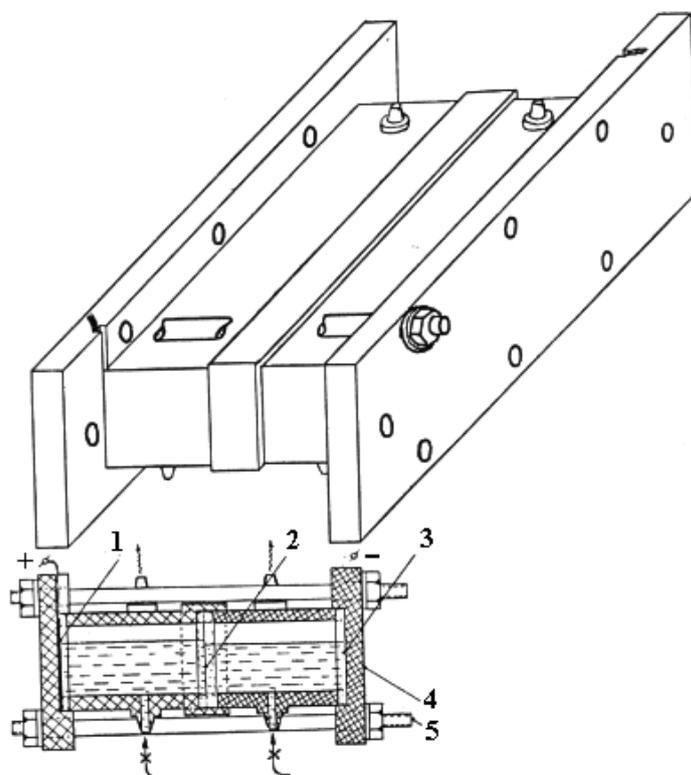


Рис. 1. Общий вид коаксиального электроактиватора (а) и его конструкция (б): 1 – кольцевой анод (титан); 2 – катод ленточный (титановая фольга); 3 – диэлектрический стержень; 4 – многослойная мембрана из фильтровальной бумаги (50 слоев); 5 – пьезометр анодного объема; 6 – пьезометр катодного объема; 7 – сливные патрубки, соединенные с пьезометрами; 8 – нижние и верхние резиновые прокладки; 9 – корпус ячейки; 10 – устройство для сжатия кольцевой мембраны; φ_1 – прикатольный объем; φ_2 – прианодный объем; a – высота мембраны; h_1 , h_2 – уровни перепада электролита. Объем камер – по 50 мл.

Определялась кинетика разряда электроактиватора по рис. 2, после отключения источника питания по следующей методике: после обработки растворов Na_2SO_4 (0,5% и 1%) в течение 2 минут при токе $I=0,3$ А источник питания отключался, клеммы электроактиватора переключались на высокоомный вход лампового вольтметра или самописца. Также изучались зависимость переноса воды из анодного в катодный отсек от времени после подачи тока с помощью пьезометров (рис. 1) и электропроводность всех фракций по стандартной методике после обработки.



a

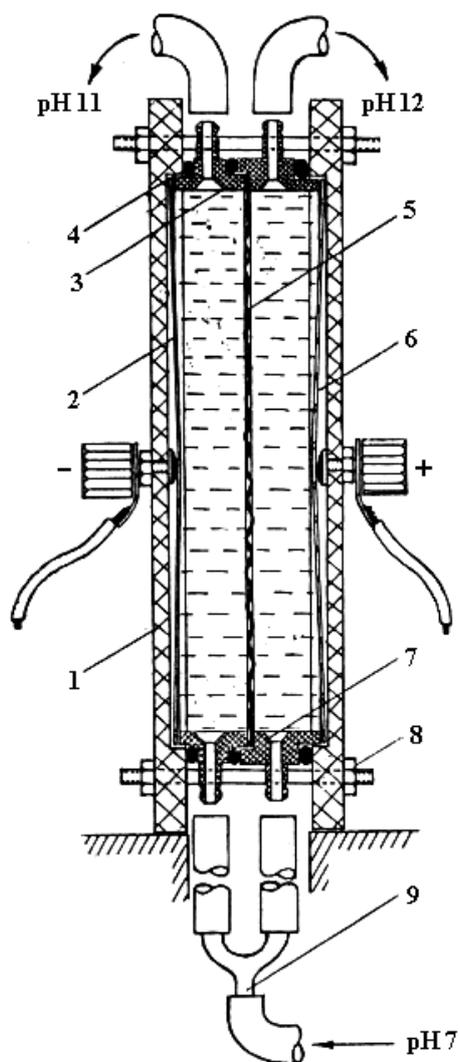


б

Рис. 2. Фотография (а) и схема конструкции электроактиватора (б) с прямоугольными камерами. Объем камер по 800 мл: б) 1 и 3 – анод и катод из титановой фольги; 2 – мембрана из ионно-обменного материала; 4 – корпус из диэлектрика; 5 – скрепляющие болты.



a



б

Рис. 3. Фотография проточного электроактиватора и вставки из органического стекла (а) и его конструкция (б). Объем камер – 1 л. б) 1 – боковые стенки; 2 и 6 – электроды; 3 и 7 – корпус из органического стекла; 4 – прокладки для гидроизоляции; 5 – мембрана; 8 – стягивающие болты; 9 – устройство для подачи жидкости.

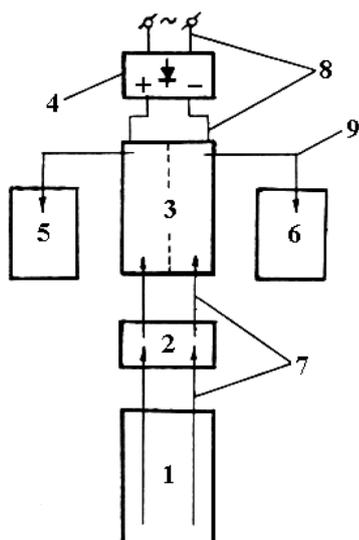


Рис. 4. Схема установки для получения католита и анолита при протокe. 1 – емкость с исходным раствором; 2 – перистальтический насос; 3 – электроактиватор; 4 – источник постоянного тока; 5 и 6 – емкости для слива анолита и католита; 7 и 9 – соединительные шланги; 8 – подводящие провода.

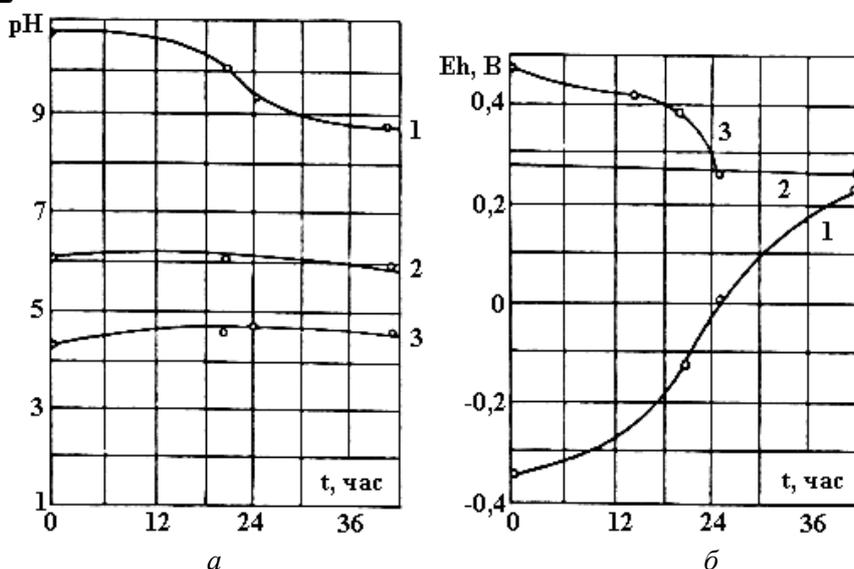


Рис. 5. Зависимости pH (а) и Eh (б) от времени для католита и анолита. Дистиллят. Активатор по рис. 1. $I = 70 \text{ mA}$, время обработки – 20 мин. 1 – католит; 2 – контроль; 3 – анолит.

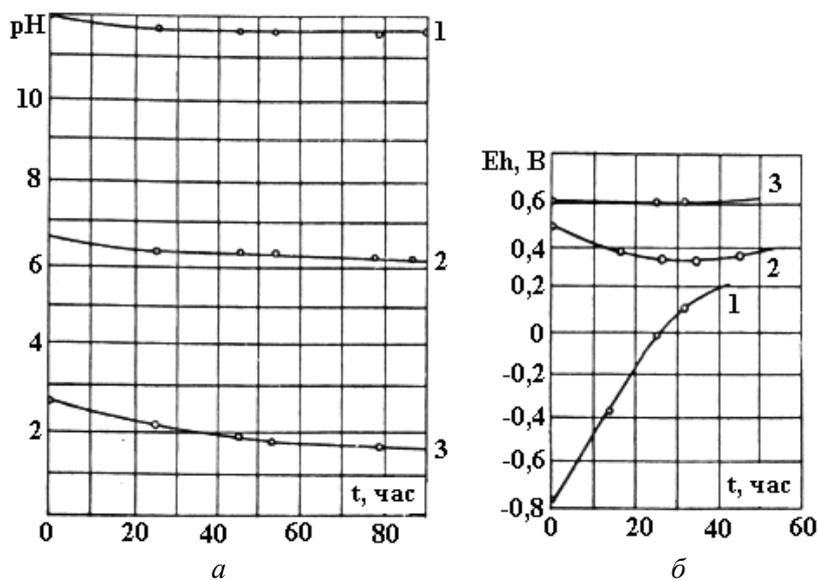


Рис. 6. Зависимость pH (а) и Eh (б) от времени для католита и анолита. 15% Na_2SO_4 . Электроактиватор по рис. 1. Время обработки 8 мин. $I = 2 \text{ A}$, $U = 36 \text{ V}$. 1 – католит; 2 – контроль; 3 – анолит.

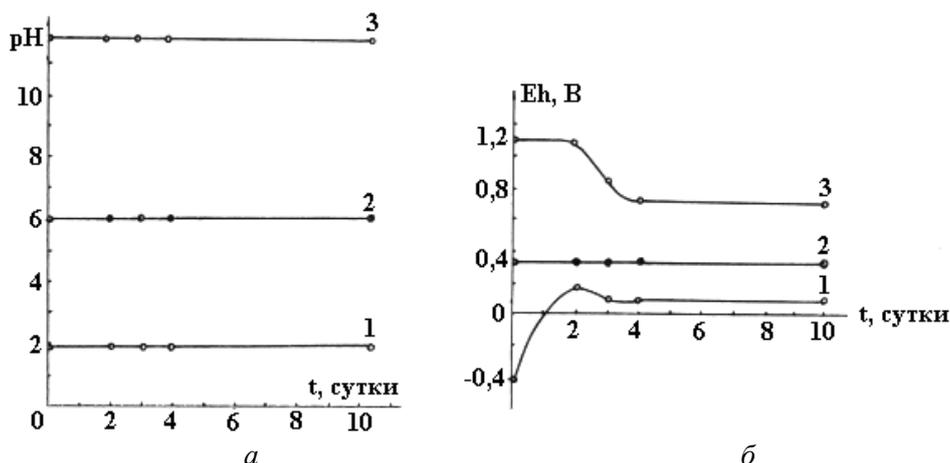


Рис. 7. Зависимость pH (а) и Eh (б) от времени для католита и анолита. Раствор (0,5% морской соли). Проточный режим обработки. Активатор, по рис. 3. Скорость обработки 0,04 л/мин. $I = 2,5 \text{ A}$. $U = 60 \text{ В}$. 1 – католит; 2 – исходный раствор; 3 – анолит.

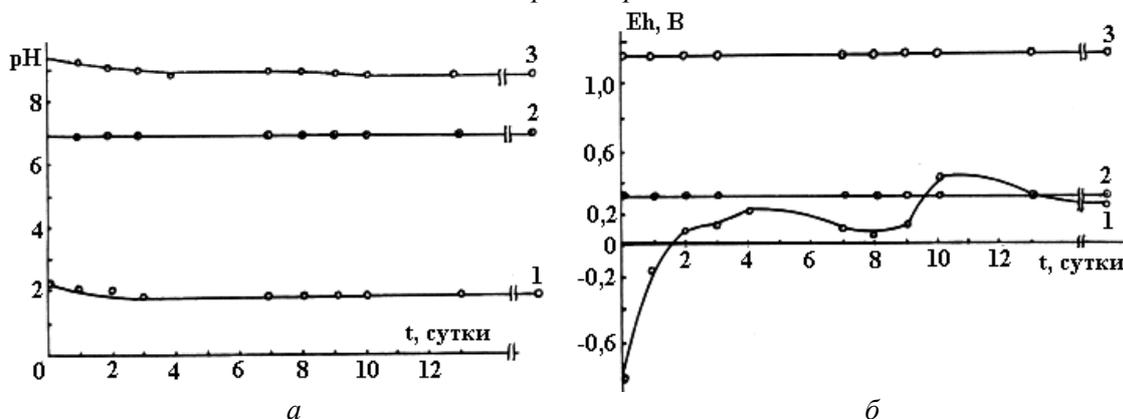


Рис. 8. Зависимость pH (а) и Eh (б) от времени. Раствор, имитирующий воду Мертвого моря (26%). Проточный режим обработки. $I = 3 \text{ A}$, $U = 10 \text{ В}$. Активатор, по рис. 3. 1 – католит; 2 – исходный раствор; 3 – анолит.

Результаты и обсуждение

Вариации pH. Для низкоминерализованных водных сред (дистиллят, водопроводная вода) в статическом режиме после 20 минут обработки значения pH отклонялись от исходного pH=6. В качестве примера на рис. 5,а приведены результаты измерения pH_k для католита и pH_a для анолита в зависимости от времени после обработки дистиллята. Для водопроводной воды при исходном значении $\text{pH}=6,7$ эти отличия pH_k и pH_a от исходного несколько выше. Аналогичный характер изменения pH во времени наблюдался и для водопроводной воды. С ростом минерализации растворов увеличивались пределы изменений pH обеих фракций и их стабильность во времени (рис. 6,а – 8,а). Так, значения pH_k достигали 12, а pH_a – 2. Подобные величины оставались неизменными за весь период наблюдений (до 16 суток). На рис. 6,а приведены данные для 15% Na_2SO_4 , а на рис. 7,а и 8,а – для модели природных вод Черного моря и Мертвого моря.

В случае водопроводной воды, так же, как и дистиллята с увеличением подаваемого напряжения на электроды, и соответственно электрического тока можно было добиться увеличения пределов изменений pH, однако это вело к нестабильности результатов, электрическому пробую.

Электропроводность σ . Изменению pH фракций, по-видимому, соответствует и рост электропроводности вследствие увеличения концентраций H^+ и OH^- ионов, характеризующих высокой подвижностью. В качестве примера в таблице приведены результаты обработки водопроводной воды.

Электропроводность водопроводной воды (г. Санкт-Петербург) σ ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$) по фракциям после обработки

Исходная водопроводная вода	Католит Щелочная фракция	Анолит Кислая фракция
$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$

Аналогичные изменения наблюдаются и для дистиллята ($\sigma = 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$). Вместе с тем достоверного изменения электропроводности растворов высокой концентрации, как это имело место для дистиллята и водопроводной воды, не наблюдалось. Возможно, это обусловлено общей высокой величиной σ исходного раствора, на которую малые изменения практически не влияют.

Перекиси H_2O_2 . В катодите отмечалось образование H_2O_2 с концентрацией порядка 10^{-6} М . В анолите H_2O_2 отсутствовала, так же, как и в контроле. Наличие H_2O_2 отмечено в [9].

Редокс-потенциал Eh . Если методика измерения $\text{pH} = -\lg c_{\text{H}^+}$, где c_{H^+} – концентрация ионов H^+ , фракций и их значения для анолита и катодита не вызывают особых проблем ни с экспериментальной, ни с теоретической точек зрения, то для Eh интерпретация экспериментальных данных, получаемых по стандартной методике измерений путем определения разности потенциалов ΔU в растворе между точечными платиновым и каломельными электродами, далеко неоднозначна [18]. Принято считать, что величина Eh характеризует окислительно-восстановительные свойства раствора, и эта характеристика применяется, по-видимому, за неимением лучшей и в силу простоты ее получения, в самых различных областях знаний: в электрохимии, в биологии, в почвоведении. Несомненно, что на величину Eh влияют самые различные факторы, учет которых очень сложен. Так, согласно [4] для описания сложной окислительно-восстановительной системы с инертными электродами, где идут одновременно процессы выделения кислорода в анолите и водорода в катодите из представлений современной электрохимии следует ожидать линейной зависимости Eh_K и Eh_a от величины pH . Однако, как из экспериментальных результатов [4] для водопроводной и дистиллированной воды, так и из наших данных для практически тех же жидкостей (и при той же) электропроводности, и в случае более высоких минерализаций, подобной зависимости не наблюдалось, не говоря уже и о длительных наблюдениях зависимостей $Eh(t)$ и $\text{pH}(t)$, по-видимому, не проводившихся в [4]. Высокие восстановительные свойства катодита и окислительные анолита позволяют, по-видимому, говорить о ряде необычных явлений, возникающих в подобных системах и сохраняющихся достаточно длительное время после разделения фракций (рис. 5 – 8). По-видимому, именно изменения физико-химических свойств подобных систем, отражаемые в значениях $Eh(t)$, и определяют ту гамму необычных и спорных до последнего времени свойств, обуславливающих влияние катодита и анолита на различные процессы живой и неживой природы. Особенно существенные изменения наблюдаются для катодита (рис. 5,б) дистиллята. Аналогичные изменения отмечены и для водопроводной воды. Однако за 24 часа Eh_K и Eh_a возвращались к исходным значениям. В случае же сильно минерализованных растворов также наблюдаются значительные изменения Eh (рис. 7,б и 8,б). С учетом этих результатов можно говорить о том, что Eh_K , достигая отрицательных значений непосредственно в период протекания тока, а период порядка суток возвращается к значениям, близким к исходному, проходя через нулевое значение. Значение же Eh_a для случая высокоминерализованных жидкостей сохраняет в основном свое значение в положительной области при его значительном увеличении по сравнению с исходным. Таким образом, из полученных результатов следует, что независимо от причин подобных вариаций и состава фракций, режим обработки и особенно время, прошедшее после получения фракций, а также, вероятно, и методика их разлива в сосуды для хранения, определяют не только эффективность воздействия, но и наличие подобного влияния вообще. Отметим, что pH фракций для высокоминерализованных вод менялось мало (рис. 6,а – 8,а).

По-видимому, для понимания физико-химических явлений, происходящих непосредственно в отсеках электроактиваторов при прохождении тока, недостаточно привлечения представлений современной электрохимии, рассматривающих процессы, происходящие только на электродах или в приэлектродном слое. Без учета гидродинамических и диффузионных процессов во всем объеме электроактиватора подобный подход некорректен. Поэтому, мы полагаем, что необходимо учитывать представления физико-химической гидродинамики, в том числе высказывания и оценки В.Г. Левича об отсутствии электронейтральности в электрохимических системах при прохождении через раствор токов, близких к предельным, т.е. $I \geq I_{np}$ [19, 20]. В этом случае, как показывают наши эксперименты [21–24], вне области двойного слоя возникают объемные диффузные макроскопические заряды значительной протяженности. Это явление обусловлено тем, что, например, вблизи катода, при инертных электродах, идет только разряд катионов (H_3O^+ и др.), имеет место их быстрая убыль, а анионы (OH^- и др.) остаются вблизи катода, создавая заряд противоположного знака, в данном случае отрицательного. Вместе с тем происходящая на катоде генерация атомарного и молекулярного водорода с последующей частичной его убылью (всплыванием) вверх, обуславливает из-за различий в плотности жидкости по-вертикали, явление конвективной диффузии. Следует ожидать аналогичных

явлений и в анодном отсеке. В этом случае идет разряд OH^- и других ионов (анионов). Возникающий объемный диффузный заряд в этом случае имеет положительный знак, и всплывающий молекулярный кислород также обуславливает эффект конвекции. В [21–24] мы наблюдали возникновение $\rho_{\text{моз}} \neq 0$ в области порядка $\delta_{\text{диф}}$, где $\delta_{\text{диф}}$ – толщина диффузионного слоя, что составляло величину порядка долей миллиметра. Однако наличие мембраны и электромиграционных процессов в оба направления через нее позволяет предполагать более глубокое нарушение процессов электронейтральности в обоих отсеках. Таким образом, возникновение положительного $\rho_{\text{моз,к}} \neq 0$ и отрицательного заряда $\rho_{\text{моз,а}} \neq 0$ в отсеках может являться причиной электрических барьеров дальнейшему протеканию тока и обуславливать наличие пространственно распределенных потенциалов ΔU_k и ΔU_a вне приэлектродных зон. По-видимому, наличие подобного макроскопического барьера отмечается и в [25]. Мы считаем возможным, что именно подобные заряды и соответствующие им потенциалы регистрируются при стандартных измерениях Eh_k и Eh_a . В данном случае мы предполагаем, что методика регистрации наличия макроскопических объемных зарядов в наших экспериментах, особенно в проточных системах [24], аналогична методике измерения Eh . В обоих случаях измеряется разность потенциалов между регистрирующим микроэлектродом поверхностью S_1 и каким-либо электродом сравнения, в нашем случае это электрод площади S_2 , $S_2 \gg S_1$, а в методике для Eh – это каломельный электрод.

По-видимому, плотность макроскопических объемных зарядов, возникающих в католите и анолите, отражает вклад всех заряженных частиц в растворе, не только ионов, но и ион-радикалов, а также наличие и кинетику как растворенных газов в их молекулярной и атомарной форме, так и в виде пузырьков, диффундирующих к открытой поверхности. Имеются в виду и такие газы, как водород, кислород, азот, хлор и их соединения, находящиеся во фракциях. Следует также учитывать и различия в растворимости газов в воде, например, кислорода и водорода. Вместе с тем наличие подобных зарядов отражает и особую энергетику подобных фракций: их неравновесность. В случае морской природной воды как исходной жидкости (рис. 7) каждая из фракций обогащается рядом элементов, как возникающих в приэлектродных областях каждой из камер, так и прошедших через мембраны.

Учитывая вышесказанное, считаем, что свойства фракций должны характеризоваться не только химическим составом, но и плотностью результирующего объемного заряда, его знаком, что, по-видимому, и отражается величинами Eh .

Генерация объемных зарядов в электролизере в обоих отсеках подтверждается результатами, полученными при непосредственном отключении внешнего источника тока и переключением клемм на измерительные устройства. Эти величины достигали 1,5–1,7 В и более при знаке, обратном внешнему напряжению; спад потенциала происходил длительно, порядка нескольких часов. С увеличением электропроводности, при переходе от 0,5 к 1% раствору Na_2SO_4 падение регистрируемого потенциала ускорилось.

Наряду с транспортом ионов через мембрану отмечался и интенсивный перенос жидкости в статике и в протоке из анодного в катодный отсек, обусловленный как электроосмосом, так и многими другими факторами [26]. Это явление необходимо учитывать и на практике. На рис. 9 приведен пример подобного переноса (дистиллят), электроактиватор по рис. 1. Обработка велась в данном случае 40 минут, $I=70$ мА.

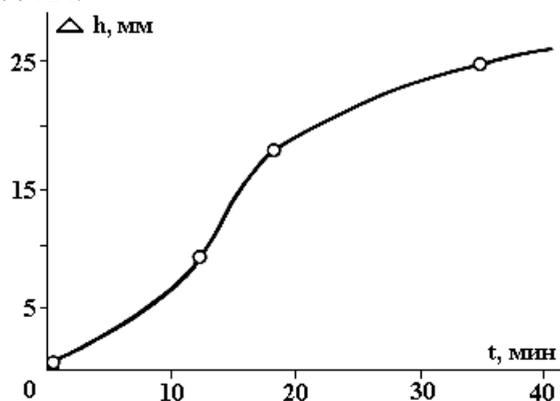


Рис. 9. Зависимость высоты перепада жидкости во время действия тока в электроактиваторе по рис. 1. Дистиллят. Поток жидкости из анодного в катодный отсек. $I = 70$ мА, Δh – высота перепада.

Поверхностное натяжение α . Одним из наиболее интересных свойств католита и анолита по сравнению с исходными жидкостями является возможность снижения поверхностного натяжения фракций растворов на межфазных границах католит (анолит) – окружающая его среда (жидкость, твердая поверхность, биологический объект и т.п.). В [10] исследовалось влияние на поверхностное натяжение воды и ее растворов внешнего постоянного электрического поля. В этих экспериментах наблюдалось, как неподвижная капля воды, вес которой был уравновешен силами поверхностного натяжения \vec{F}_α , под действием $\vec{E} > E_{кр}$ начинает течь. Это обусловлено тем, что объемные силы электрогидродинамической природы $\vec{F}_{эгд} = \rho_{оз} \vec{E}$, где $\rho_{оз}$ – объемный заряд, индуцированный на поверхности капли, становятся значительно больше сил поверхностного натяжения, то есть молекулярных сил. Наличие в католите и анолите объемных зарядов обуславливает возникновение электрического поля того или иного знака, поэтому на межфазной границе возникает разность потенциалов, приводящая к снижению α . Можно полагать, что величина Eh непосредственно или, по крайней мере частично, и определяет подобные эффекты. Такие эксперименты были выполнены на растворах низкой минерализации (10^{-1} – 10^{-3})М Na_2SO_4 и NaCl [27]. Авторы наблюдали уменьшение поверхностного натяжения в католите и анолите с $\alpha=72$ до $\alpha=64$ (Н/м). Одновременно наблюдались аналогичные изменения Eh_k и Eh_a . Эффект имел место непосредственно при электролизе и после отделения фракций. Через 24 часа отмечалась релаксация обоих процессов, что соответствует времени релаксации низкоминерализованных фракций растворов и в нашем случае (рис. 5,б).

Как известно, уменьшение α католита и анолита приводит к тому, что изменяется смачивающая способность растворов, что позволяет готовить суспензии из несмачивающихся частиц и эмульсии из жидких сред, например, нефть-вода, экономя дорогостоящие ПАВ [2–3]. Отметим, что о наличии связи величины Eh и α на межфазных границах отмечалось в [28].

Прикладные исследования. Особый интерес методы ЭХА представляют для нужд сельского хозяйства и пищевой промышленности [2–8, 10]. В лаборатории электромагнитной гидрофизики Агрофизического НИИ совместно и по инициативе сотрудников совхоза “Нелазское” Череповецкого района Вологодской области на основе ЭХА был разработан и опробован метод осветления и полного обеззараживания навозосодержащих стоков животноводческого комплекса по выращиванию крупного рогатого скота [13–15]. Можно полагать, что этот метод с учетом энергозатрат может быть эффективен для очистки и других сточных вод пищевой промышленности и природных вод, содержащих высокорастворимую органику.

Заключение

В сообщении приведены экспериментальные результаты времен релаксации, состава и свойств католитов и анолитов различных растворов.

Рассмотрены также гипотеза авторов о возможном нарушении электронейтральности во фракциях водных сред, что, по-видимому, обуславливает ряд необычных свойств жидкостей после ЭХА. Однако для более корректного обсуждения механизмов некоторых аномальных явлений, наблюдаемых при ЭХА, необходимы дальнейшие комплексные исследования. Исследования в области ЭХА представляют не только большой практический, но и фундаментальный интерес. Это обусловлено тем, что протекающие в подобных электрохимических системах процессы, вследствие возможного нарушения в них электронейтральности, аналогичны многим природным явлениям в живой и неживой природе: перенос через полупроницаемые мембраны является основным как при функционировании живых систем, так и в ряде глобальных явлений происходящих на Земле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаренко Б.Р. Состояние и перспективы использования электрических явлений в технологических процессах // Электронная обработка материалов. 1972. № 2. С. 3–8.
2. Алехин С.А., Курик М.В. Электроактивированные водные растворы // Электронная обработка материалов. 1991. № 6. С. 68–70.
3. Прилуцкая В.И., Бахир В.М. Электрохимическая активированная вода: аномальные свойства и механизм биологического действия. М., 1997.
4. Онацкая А.А., Музалевская Н.И. Активированная вода // Химия традиционная и парадоксальная. Л., 1985. С. 85–113.

5. Лобьшиев В.И., Попова И.Ю., Киселев В.И. Электрохимическая активация воды // Труды II междунар. Конгресса “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине”. Санкт-Петербург, 3-7.07.2000 г. С. 15–18.
6. Мирошников А.И. Влияние католита питательной среды на рост клеток при экстремальных температурах // Биофизика. 1999. Т. 44. № 3. С. 488–492.
7. Зенин Г.С., Маркитанова Л.И., Сокольская Р.А., Богатых С.А. Влияние рН и электрохимической обработки воды на инактивацию коли-бактерий // Электронная обработка материалов. 1988. № 3. С. 65–67.
8. Пащенко Л.П., Ракитина Т.Н., Бывальцев А.И. Электрохимическая активация сырья как фактор повышения интенсивности технологических процессов в хлебопечении // Электронная обработка материалов. 1992. № 2. С. 61–66.
9. Клосс А.И. Электрон-радикальная диссоциация и механизм активации воды // ДАН СССР. 1988. Т.303. № 6. С. 1403–1407.
10. Бондаренко Н.Ф., Гак Е.З. Электромагнитная гидрофизика и природные явления. Санкт-Петербург. Гос. Аграрн. Университет. Т. I. 1994; Т. II. 1995.
11. Гак Е.З., Шапкин М.П., Сапрыкин Ю.Н. О применении электроактивированных вод и концентрированных растворов в гидроэкологии // Тезисы докл. Всес. научно-практич. конф. “Теория и практика электрохимических процессов и экологические аспекты их использования”. Барнаул. 1990.
12. Шапкин М.П., Бондаренко Н.Ф., Балыбердина И.П., Гак Е.З. Устройства для коррекции физико-химических параметров обрабатываемых растворов, основанные на методе электрохимической активации; принципы действия и конструкции // Агрофизические методы и приборы. В 3-х томах. Т. II. Полевые исследования и агротехнологии. Санкт-Петербург. Агрофизический НИИ. 1997. С. 246–252.
13. Патент РФ. № 2047569. МПК: С02 F I/467. Способ обеззараживания и осветления животноводческих стоков // Бондаренко Н.Ф., Гак Е.З., Шапкин М.П., Чистяков Л.Ф. Оpubл. 10.11.1995. Бюлл. Изобр. № 31. С.172.
14. Bondarenko N.Ph., Gak E.Z., Shapkin M.P., Chistyakov L.F. Application on the electroactivation method for disinfection and improving of the transparence of waste water of farming production origin // Int. Agrophysics. 1994. V. 8. N 4. P. 615–620.
15. Bondarenko N.Ph., Gak E.Z., Shapkin M.P., Chistyakov L.F., Pertsev V.V. Method and apparatus for disinfection and clarifying of Agricultural Engineering. Madrid, 23-26 sept. 1996. V.2. P. 802–803.
16. Левит Р.М. Электропроводящие химические волокна. М., Химия, 1986.
17. Мертвое Море. Большая Советская Энциклопедия. III издан. М., Изд-во Советская Энциклопедия. 1974. Т. 16. С. 280.
18. Герц Г. Электрохимия. Новые воззрения. Пер. с англ. М., 1983.
19. Левич В.Г. Объемный заряд возникающий при прохождении тока через раствор электролита // Некоторые вопросы теоретической физики. М., 1958. С. 43–47.
20. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. 2-е изд. М., 1959.
21. Гак Е.З., Рохинсон Э.Х., Бондаренко Н.Ф. О роли объемных зарядов в кинетике электродных процессов // Электронная обработка материалов. 1973. № 6. С. 23–28.
22. Гак Е.З., Рохинсон Э.Е., Бондаренко Н.Ф. О возможности электрогидродинамических эффектов в электролитах // Журнал технической физики. 1974. Т.44. № 5. С. 1076–1079.
23. Гак Е.З., Рохинсон Э.Е., Бондаренко Н.Ф. Особенности изменения кинетики электродных процессов в электролитах в постоянных магнитных полях // Электрохимия. 1975. Т.11. № 4. С. 528–534.
24. Гак Е.З., Сапрыкин Ю.Н. Методика исследования свойств макроскопических объемных зарядов в водных средах // Электронная обработка материалов. 1986. № 6. С. 50–51.
25. Нонински В.Хр., Нонински Хр.Ив. Влияние магнитного поля на распределение потенциала при осаждении меди в тафелевской области потенциалов // Электронная обработка материалов. 1986. № 6. С. 50–51.
26. Бондаренко Н.Ф. Физика движения подземных вод. Л., 1973.
27. Вясилева Г.Я., Гвоздева-Карелина А.Э., Барабанов В.П. К вопросу влияния электролиза на поверхностное натяжение и физико-химические свойства водных растворов // Электрохимия. 1988. Т.24. № 6. С. 813–815.
28. Евсеев Е. Эти активизированные жидкости // Техника и наука. 1981. № 12. С. 11–12.

Summary

Some properties (pH values, redox-potential Eh ETC.) alkaline fraction differs from initial values analogous properties processing liquid due to electro-chemical treatment. This difference remain long time, depend on initial concentration processing liquid. It is possible important notice, that is possible disturbance electro-neutrality of fractions.

А. А. Зубенко, А. Н. Ющишина

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Октябрьский, 43-А, 54018, г. Николаев, Украина*

Общепризнано, что химические методы очистки воды коагуляцией неперспективны и должны быть в конечном итоге заменены физико-химическими [1, 2].

Одним из наиболее перспективных из них является электрокоагуляционный метод очистки воды, осуществляемый в электролизерах с растворимыми электродами. При этом перешедшие в воду катионы металла взаимодействуют с водой с образованием соответствующих гидроксидов (алюминия, железа и др.), обладающих высокой сорбционной способностью, что позволяет эффективно удалять из воды загрязнения в виде взвесей, коллоидов и отдельных веществ, находящихся в молекулярном и ионном состоянии [3]. Удельные энергозатраты на снятие с электродов ионов алюминия составляют 23 кВт·ч/кг (84 кДж/г) [4].

В данной работе рассматриваются результаты исследований нового электрокоагуляционного способа очистки, основанного на использовании электроискровой эрозии, возникающей в слое токопроводящих металлических гранул при прохождении в нем сильнотоочных импульсов [5–7]. В этом процессе образуются мелкодисперсные металлические частички, которые, реагируя с водой, превращаются в гидроксид, являющийся отличным коагулянтом, близким по свойствам к коагулянту, получаемому в электролизерах.

Получаемый таким образом коагулянт мы назвали *электроразрядным* и, как видно из вышеизложенного, главным отличием его получения является не растворение материала электрода (переход в воду катионов металлов), как в электролизерах, а вынос с поверхности гранул частичек металла за счет электроэрозии. Энергозатраты на диспергирование алюминия при этом составляют 3–4 кВт·ч/кг [5], что в несколько раз ниже, чем в электролизерах.

В этой работе были изучены такие коагуляционные характеристики электроразрядного гидроксида алюминия, как осаждаемость и адгезионная активность.

Экспериментальная часть

Процесс образования геля гидроксида алюминия при электрических разрядах в камерах с металлозагрузкой изложен в [5]. Он проходит в следующей последовательности:

- искровой пробой воды и пленки оксида алюминия, покрывающей гранулы металла;
- выбрасывание расплавленных капелек алюминия (средним диаметром ~ 10 мкм), образование лунок на гранулах металлозагрузки, охлаждение капель алюминия окружающей водой;
- взаимодействие капель алюминия с водой по реакции: $2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\uparrow$.