

## БИОФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ГИДРАТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

**Мирошников А.И.**

Федеральное Государственное Учреждение науки Институт биофизики клетки РАН,  
142290, Россия, г.Пушино, Московской области, Проспект науки 3, [aimir10@yandex.ru](mailto:aimir10@yandex.ru)

В литературе описано одно из важнейших достижений химии XX века – гидратированный электрон, его химические и физические свойства его роль в химии, химической физике и радиационной биологии [1]. Изучение квази свободных электронов в растворах представляет большой интерес в таких явлениях как: радиолиз, фотолиз, электродный фотоэффект, электролиз [2-4]. Попадая в конденсированную среду, например, в воду, свободный электрон превращается в гидратированный электрон, при других растворителях – в сольватированный электрон. Химические, физические свойства таких частиц существенно зависят от природы растворителя и значительно отличаются от свойств свободных электронов.

Причины биологического действия электрохимически активированных растворов среды М 9 изучали на предварительно полученных католитах и анолитах растворов, содержащих отдельные компоненты питательной среды. Такими компонентами являлись: дистиллированная вода, фосфатный буфер, буфер с хлоридами натрия и аммония, только хлориды питательной среды, соляная кислота. В полученные катлиты и анолиты отдельных компонентов добавляли недостающие компоненты для получения полной среды М9 в конечном объеме. Электрохимическая активация растворов без хлоридов и последующее добавление недостающих компонентов к католиту и анолиту до полной питательной среды М9, не приводило ни к стимуляции, ни к ингибированию роста клеток в таких питательных средах. Обработка раствора соляной кислоты в катодной и анодной камерах электролизера, подтвердила, что наличие именно ионов хлора в растворе при электролизе приводит к стимуляции и ингибированию роста клеток в питательных средах, приготовленных на католитах и анолитах, содержащих хлориды при электролизе [5].

Возможная причина активности католитов – восстановительные свойства, которые приобретает анионы хлора как донорная система свободных электронов в результате энергизации анионов хлора. Отделение электрона от донора может произойти, если донорная система получит избыточную энергию в результате теплового, фотохимического или электростатического воздействия [1, с.10]. Ранее было показано, что под действием квантов света или теплового воздействия [6], ряд анионов (в том числе анионы хлора) в полярных растворах переходят в возбужденное состояние и затем диссоциируют с образованием сольватированных электронов и анион-радикалов. При электрохимической активации растворов электростатическим воздействием, энергизирующим анионы хлора, может являться сильное электрическое поле двойного слоя на границе электрод-электролит в при катодной области диафрагменного электролизера. В дальнейшем, энергизованные анионы хлора диссоциируют на свободные электроны и радикалы хлора также, как в случае теплового или фотохимического воздействия. Радикалы хлора и свободные электроны после появления в растворе претерпевают разные преобразования. Два радикала хлора рекомбинируют и образуют стабильную двухатомную молекулу хлора.

Энергизованный анион хлора может существовать некоторое время в возбужденном состоянии с избыточной энергией, например, в виде гидратированного комплекса. Этот комплекс образуется в результате взаимодействия возбужденного аниона хлора с молекулами растворителя, поляризованными в его поле. Как следует из продолжительности сохранения активности католитов, анион хлора может находиться в энергизованном состоянии с избыточной энергией несколько суток. По мере уменьшения избыточной энергии у некоторых анионов хлора, их гидратный комплекс будет разрушаться. После частичного разрушения, энергия аниона хлора остается еще достаточной для диссоциации аниона на радикал хлора и выделения новых свободных электронов в раствор. Этот процесс постепенной, поэтапной диссоциации частично дезэнергизованных анионов хлора приводит к периодическому появлению свободных электронов в водном растворе в течение нескольких суток, в течение которых католит будет проявлять активные свойства. Регистрировать общее время существования гидратированных электронов в растворе можно по величине стимулирующего эффекта роста клеток. Это создает возможность для биофизического изучения гидратированных электронов в водных растворах.

Свободный электрон после диссоциации аниона хлора, имеет разные формы существования в растворе [1,3]: сразу после диссоциации - электрон горячий (над

тепловой, энергизованный), затем превращается в тепловой (остывает – термализуется за  $10^{-13}$ с), затем – превращается в сольватный комплекс, сольватируется за  $10^{-12}$ с. Электрон может существовать в растворе как сольватированный в виде отрицательно заряженного комплекса, возникающего в результате взаимодействия свободного электрона с молекулами растворителя, поляризованными в его поле [3, 7 с.561]. Такой электрон является сильнейшим восстановителем, его время жизни в воде порядка 1 мс [1]. Последующие превращения сольватированного электрона в растворе могут идти несколькими путями в зависимости от состава раствора[8, с.594]: он может отнять протон у молекулы растворителя (например, воды), отнять протон у протонированного растворителя, взаимодействовать с другим сольватированным электроном. В случае водных растворов клеточных суспензий представляет интерес взаимодействие гидратированных электронов с веществом – конкурентным акцептором высокой активности на клеточной поверхности. После взаимодействия с акцептором, гидратированные электроны могут способствовать увеличению массопереноса ионов и веществ через мембраны клеток. Увеличение массопереноса за счет повышения проницаемости мембран клеток является одним из трех возможных механизмов стимуляции жизнедеятельности микроорганизмов. Два других механизма стимуляции – экспрессия генетического аппарата и адаптационный механизм – представляются в случае электрохимической обработки растворов менее вероятными. Продолжительность сохранения биологической активности катодитов будет определяться временем сохранения восстановительных свойств энергизованных анионов хлора и образованием комплексов гидратированных электронов в растворе. По мере дезэнергизации и потери восстановительных свойств анионами хлора, прекращения их диссоциации на радикал хлора и свободный электрон и окончания срока жизни имеющихся в растворе комплексов гидратированных электронов, катодит будет терять свою активность. Ингибирующие свойства анолит приобретает только при наличии ионов хлора в растворе при электролизе. Причина биологического действия анолита обусловлена образованием окислителей в таких растворах. В зависимости от ионного состава исходного раствора и режимов обработки окислители образуются в виде молекулярного хлора, хлорноватистой кислоты или ионов гипохлорита. Окислители разрушают белки и мембраны клеток и вирусов, что приводит к их гибели. Продолжительность сохранения активных свойств анолитов определяется продолжительностью сохранения окислителей в растворе. При соответствующем хранении растворов (в темноте, в закрытой не металлической посуде) анолиты могут сохранять активность до нескольких лет в зависимости от концентрации окислителей.

Энергизованный анион хлора может существовать в растворе несколько суток. Поэтапная во времени диссоциация отдельных энергизованных анионов хлора приводит к периодическому появлению в растворе дополнительных свободных электронов. Это создает условия для периодического образования гидратированных электронов в электрохимически обработанных водных растворах в течение длительного времени, притом, что отдельный гидратированный электрон имеет время жизни доли секунд. Регистрировать общее время существования гидратированных электронов в растворе можно по величине стимулирующего эффекта роста клеток. Это основа биофизического подхода к изучению гидратированных электронов в водных растворах. По мере дезэнергизации и потери восстановительных свойств анионами хлора и окончания времени жизни имеющихся в растворе комплексов гидратированных электронов, катодиты будут терять свою активность и величина стимулирующего эффекта будет уменьшаться.

## **BIOPHYSICAL APPROACH TO THE STUDY OF HYDRATED ELECTRONS IN AQUEOUS SOLUTIONS**

**A.I. Miroshnikov**

Institute for Biophysical of Cells of the Russian Academy of Sciences, *E-mail:* [aimir10@yandex.ru](mailto:aimir10@yandex.ru)

### **Литература**

1. Харт Э., Анбар М. Гидратированный электрон. М.: Атомиздат, 1973. 280 с.
2. Пикаев А.К. Сольватированный электрон в радиационной химии. М.: Наука, 1969. 457с.
3. Антропов Л.И. Итоги науки. Электрохимия. Т. 6. М.: ВИНТИ, 1971. С.5-64.
4. Колдин Е. Быстрые реакции в растворе. М.: Мир, 1966. 312 с.
5. Мирошников А.И. // Биофизика. 2004. Т. 49, вып. 5. С. 866-871.
6. Shirom M., Stein G. // J.Chem.Phys. 1971. V.55. P.3372 – 3378.
7. Методы исследования быстрых реакций. / Под ред. Г. Хеммис М.: Мир, 1977. 716 с.
8. Лунд Х. // Электрохимия органических соединений: Пер. с англ. / Под ред. А.П. Томилова и Л.Г.Феоктистова. М.: Мир, 1976. С.594-602.