

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА С ЖИДКОФАЗНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Шигалев В.К., Коренюгин Д.С., Коротков К.Г.

*Рассматриваются вопросы, связанные с использованием барьерного разряда для определения содержания примесей в воде. Описывается методика эксперимента. Приведены экспериментальные данные о зависимости некоторых параметров разряда от концентрации в воде солей различных металлов, определяющих степень ее минерализации. Обсуждаются механизмы происходящих процессов.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для решения некоторых экологических проблем, в частности, связанных с контролем содержания примесей в пресных водоемах, водохранилищах, а также в артезианских скважинах существует задача экспресс-анализа концентрации содержащихся в воде веществ.

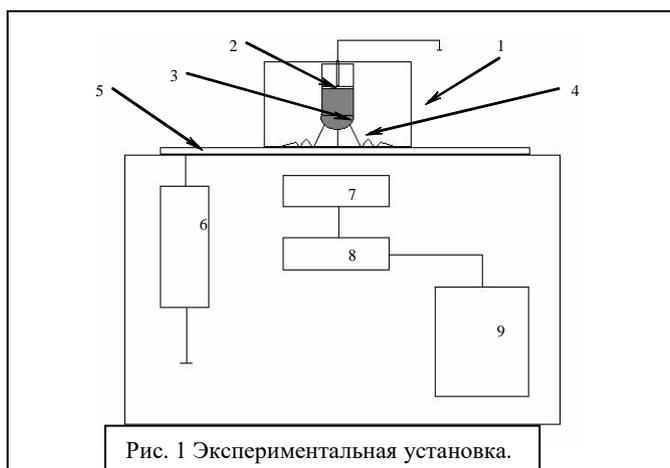
Как известно, в любой воде, за исключением бидистиллированной или химически чистой, содержатся ионы солей разнообразных металлов, а также хлориды и сульфаты, данные вещества формируют и определяют физико-химические свойства воды, а суммарное содержание ионов характеризует степень минерализации воды.

Электропроводимость воды обусловлена ионами, возникающими в результате электролитической диссоциации. Как показали наши исследования, использование барьерного разряда, где одним из электродов является вода, позволяет определить степень минерализации воды.

## МЕТОДИКА

На рис.1 изображена экспериментальная установка для исследования газоразрядного свечения капли жидкости.

1. Светозащитный кожух;
2. Дозатор с исследуемой жидкостью, шток дозатора заземлен;
3. Капля жидкости;
4. Стримерный разряд;
5. Полупрозрачная диэлектрическая пластина;
6. Генератор импульсов;
7. Оптическая система;
8. Блок преобразования сигналов;
9. Компьютер.



Специализированный генератор 6 формирует пакеты радио-импульсов длительностью 5 мкс, амплитуда изменялась от 1.6 кВ до 4 кВ, несущая частота 50 кГц, период повторения 1 мс., интервал между экспозициями – 3 секунды.

Между штоком дозатора и диэлектрической пластиной прикладывалась разность потенциалов, приводящая к возникновению разряда в стримерной стадии в зазоре между поверхностью капли и пластиной. Величина зазора составляла 3 мм.

Для создания однородного пространственного распределения каналов разряда во всех экспериментах использовались тонкие прозрачные целлофановые пленки толщиной 20 мкм., которые накладывались на поверхность диэлектрической пластины в месте локализации разряда. Под воздействием разряда происходит изменение структуры поверхности пленки, приводящее к стабилизации разряда.

Для видеосъемки свечения использовалась встроенная в базовое устройство, видеокамера с ПЗС-матрицей. Полученные видеосигналы переводятся в цифровой формат, и записываются в память компьютера. Поле излучения разряда описывается набором параметров свечения, такими, как интенсивность (в относительных единицах с присваиваемыми значениями от 0 для абсолютно черного до 255 для абсолютно белого) и площадь пятна засветки (количество пикселей с ненулевой интенсивностью свечения). Расчет и статистический анализ этих параметров производился в специализированной программе обработки изображений.

В качестве экспериментальных объектов были выбраны три раствора: NaCl, CuSO<sub>4</sub> и NaHCO<sub>3</sub>. Концентрация изменялась от 20 мг/л до 20 г/л. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

При прикладывании к электродам переменного напряжения в воздухе (газе) возникает электрическое поле, определяемое приложенным к электродам напряжением и зарядами на поверхности диэлектрика. В диэлектрике почти весь ток переносится током смещения, а в газовом зазоре – как током смещения, так и током проводимости. Ток проводимости обеспечивается наличием ионизированных каналов – стримеров шириной до 0.1 мм., хаотично пробивающих воздушный зазор. Стримеры образуются из электронных лавин, имеющих концентрацию электронов в головке  $\sim 10^{12}$  см<sup>-3</sup>, при этом  $\alpha(E_0)d \sim 18-20$ , где  $\alpha(E_0)$ -коэффициент ионизации.,  $E_0$ -величина внешнего электрического поля,  $d$ -газовый зазор. Напряженность электрического поля у поверхности головки достигает величины  $\sim 10^6$  В/см.[1]

Под воздействием электрического поля высокой напряжённости, помимо возникновения разряда, происходит распыление водяного электрода. Поляризованные микрокапли отрываются от поверхности капли и вносятся в область стримера. Характерный размер микрокапель составляет величину не большую, чем характерный размер головки стримера.

Таким образом разряд протекает в смеси воздуха и паров жидкости, экстрагированной из жидкого электрода. Очевидно, что при этом изменения параметров разряда зависят от свойств исследуемых растворов [2].

Кроме того, эксперименты показали, что при различных концентрациях примесей наблюдаются несколько видов разряда. Рассмотрим это подробнее. Стример начинает развиваться из той точки поверхности капли, где напряженность электрического поля в данный момент времени максимальна и превышает пробойное значение. Следующая лавина будет развиваться только через время, когда плазма проводящего канала полностью или частично рекомбинирует. Это время можно оценить по формуле:

$\tau_{рек} = 1/\gamma n$ , где  $\gamma$ -коэффициент рекомбинации,  $n$ -концентрация электронов. При атмосферном давлении  $\gamma = 10^5$  см<sup>3</sup>/с [3],  $n \approx 10^{12}$  см<sup>-3</sup>,  $\tau_{рек} = 100$  нсек.[4] Прямые осциллографические измерения показали, что  $\tau_{рек} = 50-100$  нсек.

За время развития лавины в точке на поверхности капли, где она начала образовываться, возникает поверхностный заряд. После окончания протекания тока он начинает рассасываться. Время рассасывания:  $\tau_{рас.} = 2\epsilon\epsilon_0\rho$ , где  $\rho$ -удельное сопротивление жидкости. В зависимости от соотношения между  $\tau_{рас.}$  и  $\tau_{рек.}$  можно выделить два основных типа разряда.

1. Концентрация  $N_{NaCl} < 0.8$  г/л, при этом  $\rho > 100$  Ом·м,  $\tau_{рек.} > 3 \cdot 10^{-7}$  сек.-меньше чем время рассасывания заряда на поверхности плазмы,  $\tau_{рас.} > \tau_{рек.}$  Каждый последующий стример развивается из другой точки поверхности капли, чем предыдущий. Лавины образуются практически со всей поверхности капли. Картина свечения характеризуется достаточно густым распределением стримеров, (см. рис.2).

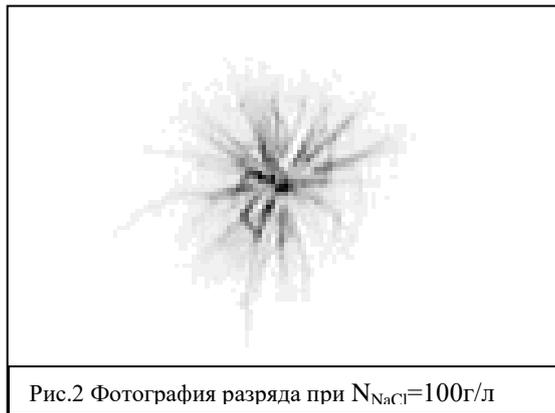


Рис.2 Фотография разряда при  $N_{\text{NaCl}}=100\text{г/л}$

2. При концентрации  $N_{\text{NaCl}} > 5\text{г/л}$ ,  $\rho > 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $\tau_{\text{рас.}} < \tau_{\text{рек}}$  – заряд на поверхности капли рассасывается за время существования плазменного канала. Большая часть стримеров развивается с вершины капли. Происходит образование плазменного столба и слившихся стримеров, локализованных в одном и том же месте, см. рис. 3.

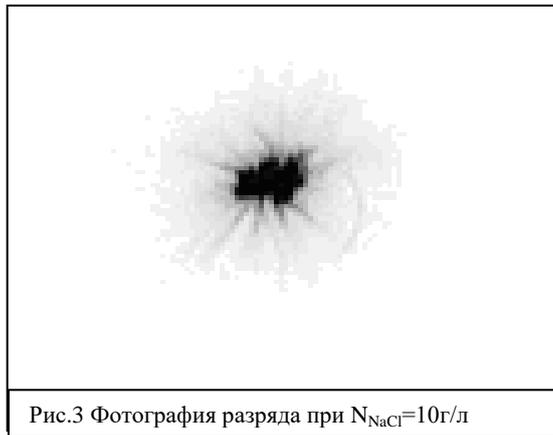


Рис.3 Фотография разряда при  $N_{\text{NaCl}}=10\text{г/л}$

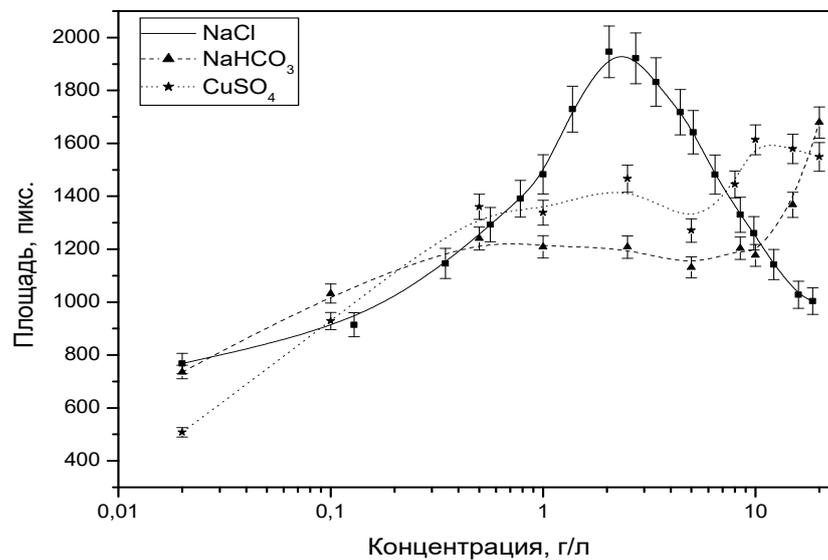


Рис. 4. График зависимости площади свечения разряда от концентрации солей.

Поскольку разряд происходит в смеси воздуха и паров воды с добавками солей, то очевидно, что параметры газового разряда зависят от вида примесей, а также от их концентрации в водяном паре, что и характеризуется кривыми на рис.4., снятых для растворов NaCl, CuSO<sub>4</sub> и NaHCO<sub>3</sub>

При концентрациях  $N_{\text{NaCl}} < 1.5$  г/л, незначительное повышение концентрации ионов в среде приводит к увеличению тока проводимости (тока разряда), т.е. к увеличению общего числа проводящих каналов-стримеров, и, следовательно, площади разряда. Форма разряда для рассматриваемого случая будет соответствовать той, что изображена на рис.2.

При концентрациях значительно больших, чем 1.5 г/л, наблюдается уменьшение общей площади разряда для растворов NaCl и постоянные значения площадей для остальных растворов в пределах до 10 г/л. Как уже отмечалось выше, картина разряда на этом участке отличается от другой, нами рассмотренной, отсутствием густо распределенных поверхностных стримеров. А именно, визуально площадь разряда представляет собой круг, который и вносит основной вклад в вычисление площади разряда, (см. рис.3.).

Опираясь на имеющиеся экспериментальные результаты, становится возможным применить их к определению степени минерализации воды. Так как пригодность воды для использования ее в пищевой промышленности в основном определяется наличием в ней ионов Na, а также хлоридов, именно эта группа ионов входит в понятие степени минерализации [5], то измерив параметры газоразрядного свечения исследуемой воды, и используя градуировочный график, аналогичный тому, что представлен на рис.4 для растворов NaCl, можно оценить концентрацию соли в воде. Однако, отметим следующий важный факт. Поскольку кривая имеет пиковое значение параметра, то некоторому значению площади газоразрядного изображения могут соответствовать два значения концентрации соли (примеси), и поэтому правильный выбор из двух полученных значений будет определяться характерной формой разряда.

### **Литература:**

- 1) Ю. П. Райзер Физика газового разряда. - Москва, «Наука», 1987.
- 2) Ю. А. Баринов, С. М. Школьник Зондовые измерения в разряде с жидкими неметаллическими электродами в воздухе при атмосферном давлении.-Журнал технической физики, 2002, том 72, вып.3.
- 3) Н. И. Кошкин, М. Г. Ширкевич Справочник по экспериментальной физике-Москва, «Наука», 1980.
- 4) М. Митчнер, Ч. Кругер. Частично ионизованные газы.- Москва, «Мир», 1976г.7
- 5) Н. Э. Гельман, Методы количественного органического элементного микроанализа, под ред., Москва., 1987;