

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Э.В. Крыжановский

Введение

Недавно в Словении сотрудниками Institute for Bioelectromagnetics and New Biology были проведены исследования по определению степени влияния различных композиций ионов жидкофазных объектов на коронный разряд вокруг капель данных объектов [1-3].

Ионы играют существенную роль в процессе разряда, поэтому использование в исследовании различных конфигураций ионов носит большую информативную ценность.

В серии экспериментов авторы [1-3] использовали в качестве жидкофазных объектов различные соли, разведенные в воде, а также саму воду. Исследования проводились при помощи специально разработанного метода коронного разряда электрографии капель воды и компьютерного анализа полученных изображений. На основе проведенных авторами исследований были выявлены качественные и количественные различия параметров полученных изображений в рамках указанного выше анализа.

Основным недостатком проведенных исследований явился весьма долгий и трудоемкий процесс получения изображений, вследствие чего точное воспроизведение указанных экспериментов становится проблематичным.

Информативность ГРВ-грамм (газоразрядных изображений) жидкофазных объектов была продемонстрирована в России в работах сотрудников Санкт-Петербургского Института Точной Механики и Оптики с использованием метода газоразрядной визуализации (ГРВ-графии) в процессах изучения микробиологических культур и других жидкофазных объектах [4,5].

Развитие метода ГРВ-графии позволило открыть новые перспективы исследований. Так, были найдены различия в ГРВ-граммах для гомеопатических препаратов и цветочных эссенций [5]. Была выявлена зависимость ГРВ-грамм экземпляров крови от состояния здоровья пациентов [6].

Были разработаны три методики регистрации ГРВ-грамм жидкостей: с лежащей каплей, подвешенной каплей и с жидкостью, изолированной в капсуле.

В настоящей работе использовалась методика с подвешенной каплей, т.к. для нее в процессе исследования были выявлены наименьшие погрешности полученных данных при работе с водой и водными растворами.

Полученные результаты и развитая методика открывают перспективы широкого применения метода ГРВ-графии для исследования структурных свойств жидкостей. Например, для создания принципиально новых биообратных систем структуризации жидкостей для контролирования влияния биологических объектов.

Методика эксперимента. Прибор для исследования характеристик газоразрядного свечения

При разработке приборов для исследования характеристик газоразрядного свечения различных объектов были приняты во внимание следующие основные требования:

- высокая стабильность параметров напряжения;
- выбор оптимальных для различных объектов параметров формирования разряда;
- максимальная информативность данных при минимальном влиянии на исследуемый объект;
- выявление связи регистрируемых параметров со свойствами исследуемого объекта;
- удобство регистрации метрологических характеристик, возможность стандартизации и проверки;
- удобство в работе, безопасность, эргономичность, минимальный уровень помех.

Как было показано ранее [5,7-9], при развитии разряда исследуемый объект включается в цепь протекания электрического тока разряда, а вдоль поверхности диэлектрика, закрывающего один из электродов, создается продольная компонента электрического поля высокой напряженности. Развивающийся в импульсе напряжения газовый разряд служит как бы усилителем сверхслабых эмиссионных процессов, протекающих на поверхности объекта, и в то же время поверхностное распределение разрядных каналов зависит от топографии электрофизических характеристик объекта.

ГРВ-грамма представляет собой сложную двумерную фигуру (рис. 1). Каждый пиксель характеризуется своей яркостью, кодируемой целым числом в диапазоне от 0 («черное») до 255 («белое»). Геометрические параметры ГРВ-грамм (например - площадь изображения, определяемая как сумма пикселей выше заданного порога яркости; коэффициент фрактальности, определяемый как отношение длины периметра

изображения к его среднему радиусу умноженному на 2π ; ширина стримеров), несут информацию о характеристиках объекта. К примеру, как показано в [1,2] при повышении концентрации ионов в жидкости площадь засветки увеличивается, а ширина стримеров уменьшается. Для включения подобных данных в структуру комплексного биофизического эксперимента необходима количественная обработка получаемых изображений.



Рис. 1. ГРВ-граммы однонормального раствора KNO_3 (слева) и дистиллированной воды

На рис. 2 изображена схема эксперимента на основе метода ГРВ-графии для произвольного объекта.

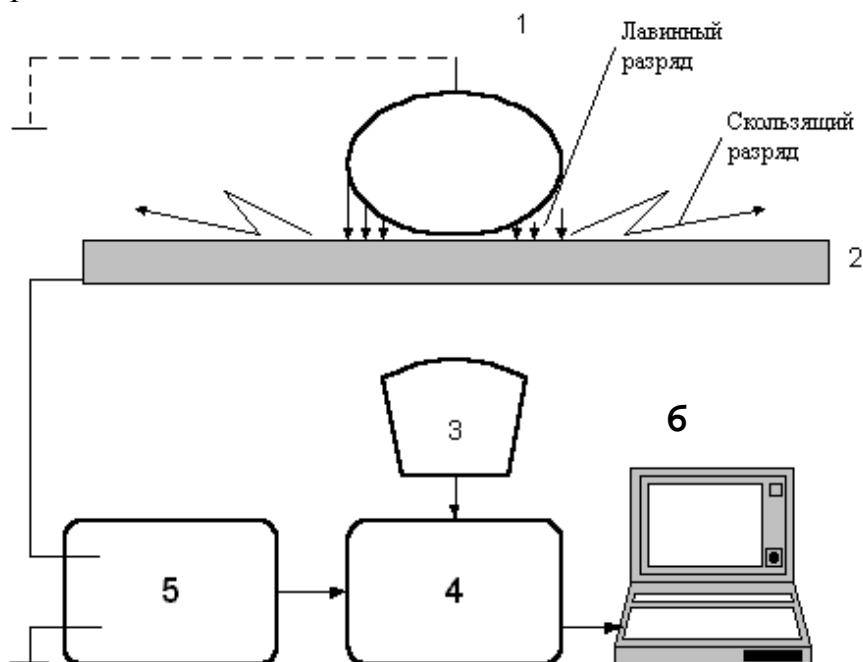


Рис. 2. Схематическое изображение устройства для исследования ГРВ характеристик исследуемого объекта и его эквивалентная схема: 1 – объект; 2 – прозрачный электрод; 3 – оптическая схема; 4 – видеопреобразователь; 5 – электронные блоки, генератор ЭМП; 6 – процессор обработки видеокладов

Принцип формирования изображений заключается в следующем. Между исследуемым объектом 1 и диэлектрической пластиной 2, на которой размещается объект, подаются импульсы напряжения от

генератора электромагнитного поля (ЭМП) 5, для чего на обратную сторону пластины 2 нанесено прозрачное токопроводящее покрытие. При высокой напряженности поля в газовой среде пространства контакта объекта 1 и пластины 2 развивается лавинный и/или скользящий газовый разряд, характеристики которого определяются свойствами объекта. Свечение разряда с помощью оптической системы и ПЗС-камеры 3 преобразуется в видеосигналы, которые записываются в виде одиночных кадров (ГРВ-грамм) или AVI-файлов в блок памяти 4, связанный с процессором обработки видеок кадров 6. Процессор обработки представляет собой специализированный программный комплекс, который позволяет вычислить комплекс параметров и на их основе делать определенные диагностические заключения.

ГРВ-граммы жидкостей были получены с помощью специального устройства для жидкости (рис. 3). Жидкость в этом устройстве была подвешена в виде капли над поверхностью экрана на расстоянии 3 мм.

Все исследования проводились в диапазоне температур от 22,5 до 23,5°C и относительной влажности от 42 до 44%.

Все виды исследований проводились с помощью прибора "GDV Camera".

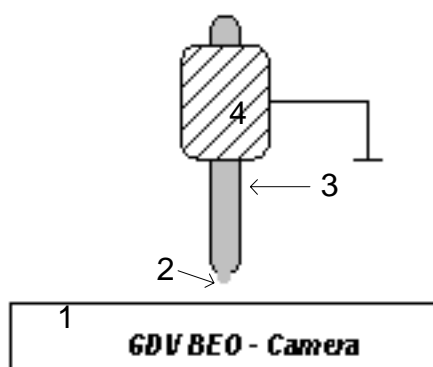


Рис. 3. Экспериментальная установка для измерения газоразрядных изображений жидкости: 1-окно прибора для исследования ГРВ объектов; 2-капля жидкости; 3-шприц; 4-заземление

Методика получения экспериментальных данных

При исследовании жидкостей измерялись следующие параметры ГРВ-грамм - площадь засветки, коэффициент фрактальности, энтропия и угол автокорреляции.

Площадь изображения определяется как сумма пикселей выше заданного порога яркости. Площадь засветки, при одинаковых размерах капель, является функцией от фотонной и электронной эмиссии с поверхности данной жидкости. Следовательно, активность и подвижность

ионов, а также степень ионизации и диссоциации будут вносить весомый вклад в величину данного параметра. Эти предположения также дают основания делать предположение о возможной связи между площадью засветки и эквивалентной электропроводностью.

Коэффициент фрактальности определяется как

$$K=L/2\pi R, \quad (1)$$

где L - длины периметра и R – средний радиус ГРВ-граммы.

Коэффициент фрактальности интересен по следующим эмпирическим соображениям. Фрактальность ГРВ-грамм растворов, по-видимому, должна отражать подвижность и активность ионов, входящих в раствор. С уменьшением концентрации раствора ионы удаляются друг от друга, их взаимодействие уменьшается и отражение процессов в растворах на ГРВ-граммах под влиянием электромагнитного поля имеет более упорядоченный характер. Эта зависимость от свойств и концентраций ионов в растворах сходна с зависимостью эквивалентной электропроводности растворов, которая имеет большую физико-химическую и диагностическую ценность. Таким образом, вопрос о выявлении зависимости коэффициента фрактальности и эквивалентной электропроводности весьма актуален.

Энтропия представляет собой следующую величину

$$S = - \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} p(f) \ln p(f) df, \quad (2)$$

где

$$p(f) = P(f) / \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} P(f) df, \quad (3)$$

$$f(x) = 2\pi F(x) / \int_0^{2\pi} F(x) dx. \quad (4)$$

$F(x)$ - распределение яркости как функции некоторого аргумента x в пределах $[0, 2\pi]$. $P(f)$ – распределение плотности функции $f(x)$ в интервале $[f_{\max}, f_{\min}]$. f_{\max} и f_{\min} соответствуют выражению (4) при 2π и 0 .

Функции $f(x)$ и $p(f)$ удовлетворяют следующим условиям нормировки:

$$\int_0^{2\pi} f(x) dx = 1, \\ \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} P(f) df = 1. \quad (5)$$

Энтропия является мерой отклонения от равновесия: она убывает при стремлении к равновесному состоянию. С этой точки зрения интересна ее динамика в процессе разбавления растворов электролитов.

Характеристикой регулярности процесса является функция автокорреляции, которая вводится следующим образом:

$$\Phi(y) = \int_0^{2\pi} [f(x) - f_0][f(x+y) - f_0] dx. \quad (6)$$

где $f(x)$ – функция определенная выражением (4), при этом предполагается, что $f(x+2\pi)=f(x)$; f_0 – среднее значение функции $f(x)$ в интервале $[f_{max}, f_{min}]$. Функция $\Phi(y)$ равна 1 в точках 0 и 2π , наличие максимумов свидетельствует о регулярности процесса; если $\Phi(y)=0$, корреляции на расстоянии y отсутствуют.

Динамика функции автокорреляции как характеристики регулярности процесса при разбавлении растворов электролитов представляет определенный интерес.

Порядок проведения исследований

В данной работе проводились следующие виды исследований:

1. Исследование по выявлению вида распределения данных для характерных параметров. Объектами исследования были дистиллированная вода и однонормальный раствор особо чистого NaCl.
2. Исследование по выявлению различий между параметрами дистиллированной воды, однонормальным раствором особо чистого NaCl и их ионизированными аналогами (подвергнутыми воздействию электромагнитного поля 50, 10 и 5 раз, соответственно).
3. Исследование по выявлению различий между параметрами растворов различных химически чистых электролитов (NaCl, KCl, NaNO₃, KNO₃) при степенях концентрации от однонормального до свыше 16000-го разведения однонормального раствора, а также, выявлению концентраций растворов, соответствующих отсутствию различий между ними и дистиллированной водой.
4. Исследование по выявлению возможной зависимости таких параметров как площадь засветки, энтропия, угол автокорреляции и коэффициента фрактальности от электрической проводимости (удобнее рассматривать зависимость указанных параметров от эквивалентной электропроводности, которая определяется как: $\lambda = \chi / (C \cdot 10^3)$, где χ – удельная электропроводность ($Om^{-1}cm^2$); $C \equiv C_{э\text{кв}}$ – концентрация раствора ($г\text{-экв/л}$); $г\text{-экв}$ – определяется как химический эквивалент, выраженный в граммах; химический эквивалент есть отношение единицы атомного веса к его валентности).

Результаты экспериментов

Полученные в ходе экспериментов данные представлены на рис.4-9.

В таблице 1 показан пример статистического анализа данных, используемый в настоящей работе.

Выводы

По результатам настоящего исследования можно сделать следующие выводы:

1. Анализ более чем 3600 ГРВ-грамм исследуемых жидкофазных объектов показал, что параметры, соответствующие этим ГРВ-граммам, имеют нормальное распределение.

Чувствительность статистического критерия, зависящая от разницы средних, их стандартных отклонений и числа выборок, при планировании в 60% и выше в подобном исследовании, должна включать не менее 40 выборок для каждой концентрации.

2. Показано, что в процессе съемки за счет воздействия импульсного электромагнитного поля (ЭМП), генерируемого самим прибором, под влиянием которого происходит газовый разряд, на жидкость происходит изменение параметров снимаемых ГРВ-грамм, что может быть интерпретировано как изменение свойств жидкости под воздействием импульсного ЭМП (рис. 4). Пример статистического анализа приведен в таблице 1.

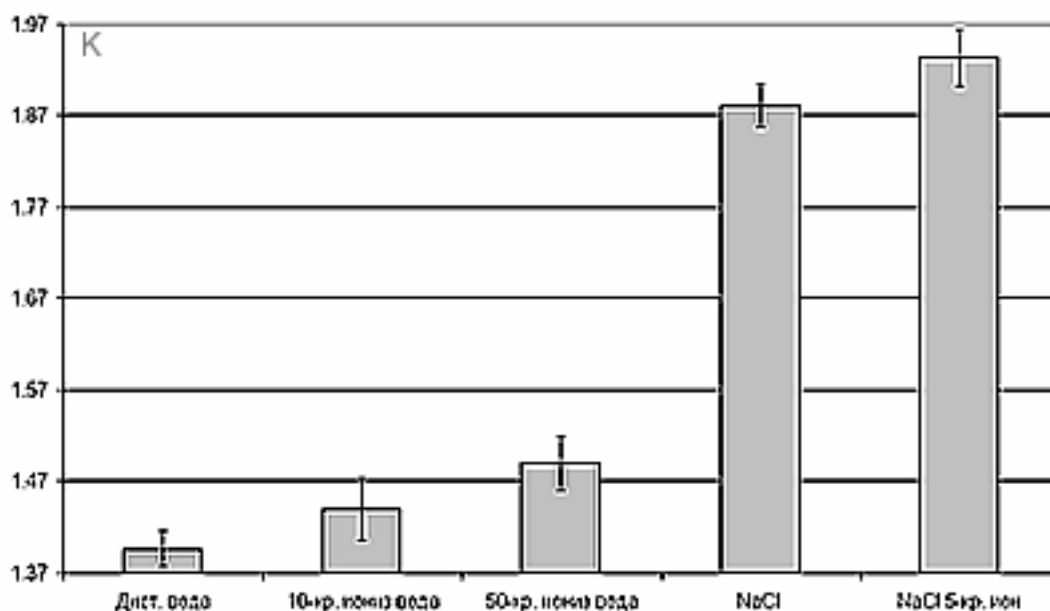


Рис. 4. Сравнение средних значений фрактальных коэффициентов K дистиллированной воды, однонормального раствора $NaCl$ и их ионизированных аналогов

Подобные данные свидетельствуют, что метод ГРВ может быть использован для регистрации влияния ЭМП на жидкость, однако при этом необходимо учитывать влияние самого процесса измерения.

3. Экспериментальная чувствительность параметров при сравнении с водой располагается следующим образом в порядке убывания: площадь засветки, энтропия, угол автокорреляции, коэффициент фрактальности (рис. 5-8). Чувствительность последнего параметра выше при выявлении таких различий в растворах, как ионные радиусы и электрическая проводимость.

Коэффициент фрактальности интересен по следующим эмпирически выведенным соображениям. Фрактальность ГРВ-грамм растворов, по-видимому, должна отражать подвижность и активность ионов, входящих в раствор. С уменьшением концентрации раствора ионы удаляются друг от друга, их взаимодействие уменьшается и отражение процессов в растворах на ГРВ-граммах под влиянием электромагнитного поля имеет более упорядоченный характер. Эта зависимость от свойств и концентраций ионов в растворах сходна с зависимостью эквивалентной электропроводности растворов, которая имеет большую физико-химическую и диагностическую ценность. Таким образом, вопрос о выявлении зависимости коэффициента фрактальности и эквивалентной электропроводности весьма актуален.

Энтропия является мерой отклонения от равновесия: она убывает при стремлении к равновесному состоянию. С этой точки зрения интересна ее динамика в процессе разбавления.

Функция автокорреляции является характеристикой регулярности процесса. Так, если функция автокорреляции от какого-то расстояния равна нулю, то это значит, что корреляции на данном расстоянии отсутствуют. Как показано при исследовании биологических объектов различной природы [5], этот параметр имеет большое практическое значение. Динамика функции автокорреляции в процессе разбавления также достаточна интересна.

Площадь засветки, при одинаковых размерах капель, является функцией от фотонной и электронной эмиссии с поверхности данной жидкости. Следовательно, активность и подвижность ионов, а также степень ионизации и диссоциации будут вносить весомый вклад в величину данного параметра. Эти предположения также дают основания делать предположение о возможной связи между площадью засветки и эквивалентной электропроводностью.

4. Исследуемые растворы сильных электролитов (полностью диссоциируемых растворителем на ионы), таких как NaCl, KCl, NaNO₃, KNO₃, различимые по ионным радиусам и электропроводности, имеют различия как между соседними концентрациями одного раствора, так и

между одинаковыми концентрациями различных растворов по совокупности всех четырех параметров.

Имеется определенная корреляция в общем поведении растворов электролитов. На уровне разбавления 0,5 (г-экв)/л коэффициент фрактальности падает относительно своего нормального значения, затем на уровне 0,25 (г-экв)/л возрастает. Далее с небольшими отличиями он падает до уровня $4 \cdot 10^{-3}$ (г-экв)/л, а на уровне разбавления $1,95 \cdot 10^{-3}$ (г-экв)/л возрастает вновь и с уровня $9,7 \cdot 10^{-4}$ (г-экв)/л стабильно падает вплоть до разбавления $6 \cdot 10^{-5}$ (г-экв)/л, где пропадают различия между растворами и дистиллированной водой (рис. 5).

Из рис. 6 для зависимости энтропии от концентраций видно, что сохраняется «выпад» во втором разбавлении и обнаруживается «выпад» на уровне 0.00195 (г-экв)/л предшествующий указанному выше «выпаду» на уровне 0.00097 (г-экв)/л, соответствующему зависимости фрактального коэффициента от концентрации. Это можно интерпретировать в соответствии с определением энтропии, как увеличению отклонения от неустойчивой равновесия в динамике падения энтропии с уменьшением концентрации растворов.

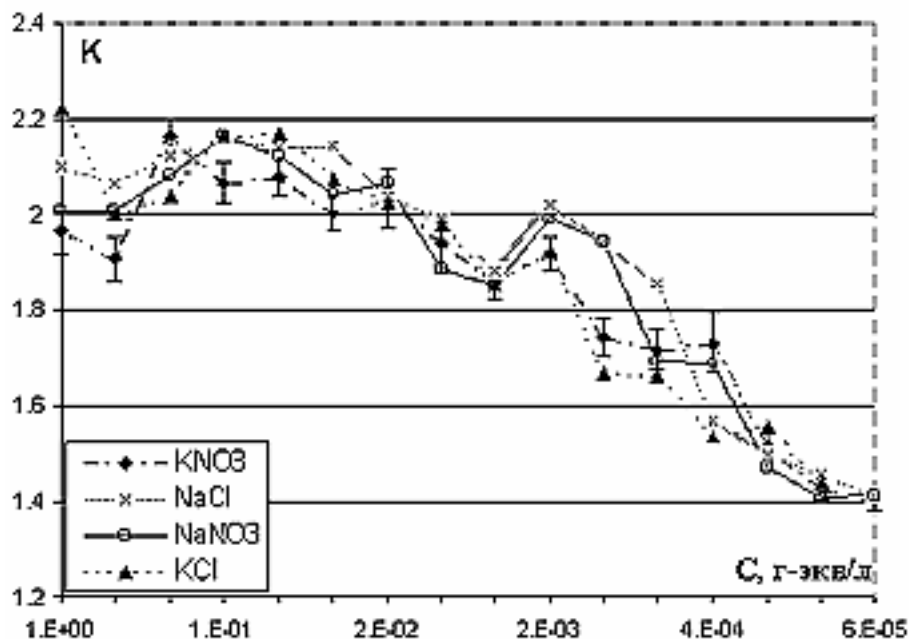


Рис. 5. Зависимость коэффициента фрактальности K от концентраций C растворов электролитов

Из полученных данных и рисунков видно, что различия между точками, соответствующими энтропиям различных растворов, не имеется. Это следствие того, что значения энтропии в данном случае относятся, по-видимому, не к указанным различиям по размерам ионов и

электропроводности, а к степени диссоциации, которая у исследуемых электролитов одинакова.

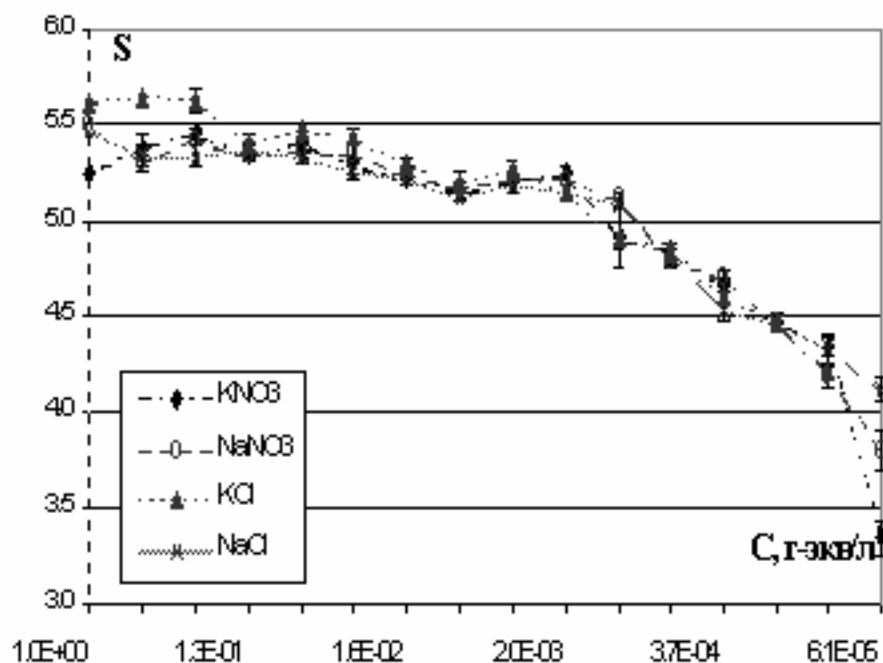


Рис. 6. Зависимость энтропии S от концентраций C растворов электролитов

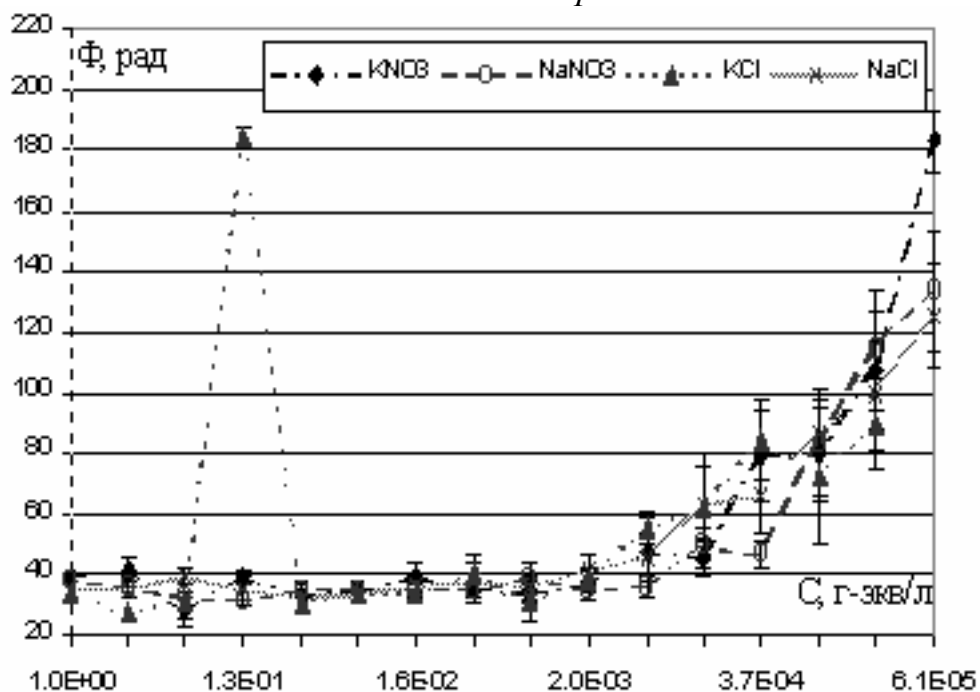


Рис. 7. Зависимость автокорреляционной функции Φ от концентраций C растворов электролитов

Автокорреляционная функция, как мера регулярности процесса ведет себя, как и следовало ожидать исходя из химических свойств растворов

сильных электролитов, по большей части однотипно для всех растворов (рис.7). Исключение составляет концентрация 0,125 (г-экв)/л для KCl.

Зависимость площади засветки от концентраций, представленная на рис. 8 указывает на сходное поведение в динамики кривых растворов и вместе с тем демонстрирует различия для значений большей части концентраций.

5. Получены характерные «выпады» значений фрактального коэффициента при концентрациях 0,5 (г-экв)/л и $1,95 \cdot 10^{-3}$ (г-экв)/л и «выпада» автокорреляционной функции при концентрации 0,125 (г-экв)/л. Объяснение должно лежать, по-видимому, в особенности структуризации растворов при данных разбавлениях. Концентрация оказывает двойное влияние на электропроводность: с одной стороны, растет количество ионов - переносчиков электричества, а с другой стороны, падает их подвижность. Эта «двойкость» может объяснить данные «выпады». Это явления будет предметом дальнейшей работы по физико-химической интерпретации.

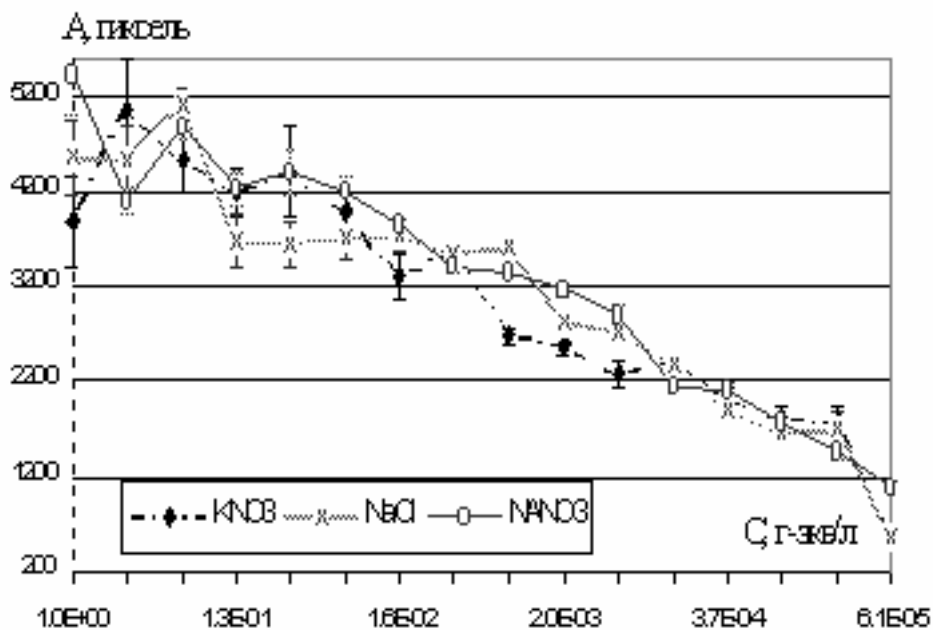


Рис.8. Зависимость площади засветки A от концентраций C растворов электролитов

6. Полученные в работе результаты с высокой вероятностью демонстрируют наличие полиномиальной зависимости третьего порядка, между коэффициентом фрактальности и эквивалентной электропроводностью (рис. 9).

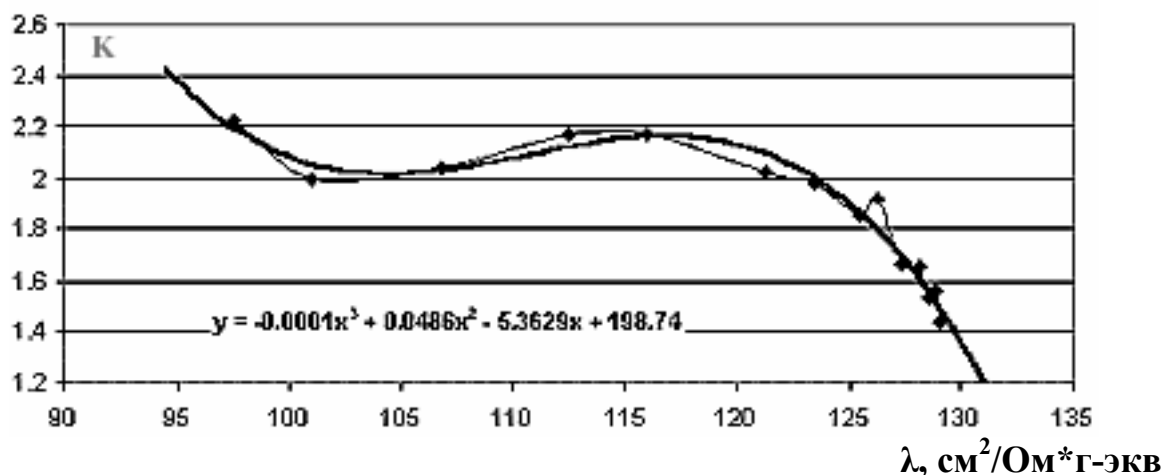


Рис. 9. Зависимость коэффициента фрактальности K эквивалентной электропроводности λ для различных концентраций KCl и ее кривая аппроксимации

Площадь засветки и эквивалентная электропроводность оказываются связаны полиномиальной зависимостью пятого порядка.

Наличие подобных зависимостей свидетельствует о существенно нелинейном характере связи между электропроводностью и ГРВ коэффициентами. Естественно предположить, что обе эти группы параметров отражают некоторые базовые физические свойства растворов. Таким свойством для эквивалентной электропроводности является подвижность ионов или ионных кластеров. Это выражается в выявленной зависимости значений коэффициентов в полиномах от величин ионных радиусов.

Сохранение данной зависимости для сверхмалой концентрации ионов соответствует гипотезе о выявлении кластерных структур в жидкости методом ГРВ-графики.

Табл.1

Сравнение ГРВ-грамм дистиллированной и 10 –кр.ионизированной воды по фрактальному коэффициенту

ГРВ-граммы жидкостей	Число выбор.	Ср.значен.	Ст.откл.	t-критер.	Чувств.	Вероятн.	Критерий значимости
Дист. вода	100	1.39	0.09				
10-кр. иониз вода	50	1.44	0.12	-2.33	0.64	0.02	0.05

95% доверительный интервал для разности: от -0.08 до - 0.0065

Литература

1. Skarja M., Berden M., Papuga P., Jerman I. Influence of ionic composition of water on the corona discharge around water drops.- J. of Applied Physics, 1998, vol.84, N5, p.2436-2560.
2. Skarja M., Berden M., Papuga P., Jerman I. Instrumental measuring of different homeopathic dilutions of KI in water.- J. of Acupuncture & Electro-Therapeutics Res., 1999, vol.24, N1, p.29-44.
3. Skarja M., Berden M., Jerman I. Indirect instrumental detection of ultraweak, presumably electromagnetic radiation from organism. -Electro and Magnitobiology, 1997, vol. 16, N3, p. 249-258.
4. Gudakova G., Galinkin V., Korotkov K. Study of gas discharge characteristics of microbiological cultures.- J. of Applied Spectroscopy, 1988, vol. 49, N 3, p. 412-417
5. Коротков К.Г. Основы ГРВ. –В кн.: От эффекта Кирлиан к Биоэлектрографии. СПб, 1998, с.24-114.
6. Гурвиц Б.Л., Крылов Б.А., Коротков К.Г. Новый концептуальный подход к ранней диагностике рака. –В кн.: От эффекта Кирлиан к Биоэлектрографии. СПб, 1998, с.125-132.
7. Кожаринов В.В., Зацепин Н.Н., Домород Н.Е. Электроразрядный метод визуализации. –Минск. Наука и техника, 1986. - 380 с.
8. Boyers D.G. Tiller W.A. Corona Discharge Photography.- J. of Applied Physics, 1973, vol.44, p.3102-3112
9. Баньковский Н.Г., Коротков К.Г. Изучение физики газоразрядной визуализации.- Письма ЖТФ,1982, т.8, N 4, с.216-230.