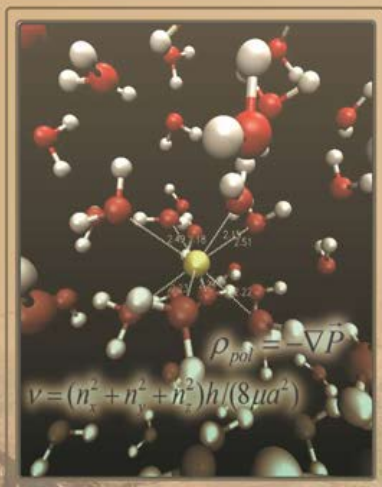


Казарян М.А.
Ломов И. В.
Шаманин И. В.

ЭЛЕКТРОФИЗИКА СТРУКТУРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ В ЖИДКИХ ПОЛЯРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ



Казарян М.А., Ломов И. В., Шаманин И. В.

ЭЛЕКТРОФИЗИКА СТРУКТУРИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ В ЖИДКИХ ПОЛЯРНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2011

УДК 542.6
ББК 24.5
К 14



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 10-02-07031*

Казарян М.А., Ломов И.В., Шаманин И.В. **Электрофизика
структурированных растворов солей в жидких полярных диэлектриках.** —
М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 192 с. — ISBN 978-5-9221-1324-3.

Настоящая книга посвящена обнаружению и изучению нового эффекта — индуцированного дрейфа, вызванного действием периодических электрических и магнитных полей на структурированные растворы солей в жидких полярных диэлектриках. Она содержит информацию как экспериментального, так и теоретического характера. При этом основное внимание уделено объяснению явлений с физической точки зрения.

Книга предназначена научным сотрудникам, инженерам, аспирантам и студентам, интересующимся данной тематикой.

ISBN 978-5-9221-1324-3

© ФИЗМАТЛИТ, 2011

© М. А. Казарян, И. В. Ломов,
И. В. Шаманин, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	6
 Глава 1. Эффекты, вызванные действием периодических электрического и магнитного полей на водные растворы солей	 9
1.1. Техника экспериментов	10
1.2. Электроиндуцированный дрейф сольватированных катионов кальция и магния	18
1.3. Электроиндуцированный дрейф сольватированных катионов церия и свинца	28
1.4. Магнитоиндуцированный массоперенос в растворах солей ..	32
 Глава 2. Физика процесса электро- и магнитоиндуцированного массопереноса в растворах солей	 35
2.1. Модель эффекта электро- и магнитоиндуцированного селективного дрейфа	36
2.2. Кластерная структура раствора и частоты возбуждения электроиндуцированного селективного дрейфа	41
2.3. Структура раствора и размеры сольватированных ионов. . . .	57
2.4. Размеры сольватированных ионов и свойства раствора.	80
 Глава 3. Самосогласованное электрическое поле в объеме раствора соли	 107
3.1. Колебания поляризационного заряда в объеме раствора, размеры сольватированных ионов и частоты возбуждения электроиндуцированного дрейфа	107
3.2. Возможность формирования ассоциатов сольватированных ионов	118
3.3. Сложные колебания сольватированных ионов-кластеров. . . .	129
3.4. Радиофизические свойства растворов	139

3.5. Действие электромагнитной волны на раствор и лазерное зондирование структуры раствора	147
Глава 4. Перспективы использования эффекта селективного ориентированного дрейфа катионных аквакомплексов в технологии элементного обогащения.	151
4.1. Проблема переработки торийсодержащих ядерных сырьевых материалов	151
4.2. Редкоземельные элементы и их востребованность	153
4.2.1. Общая характеристика РЗЭ (154). 4.2.2. Важнейшие области применения РЗЭ и их соединений (156). 4.2.3. Минералы РЗЭ, руды и месторождения (162).	
4.3. Электрофизические и электрохимические методы элементного и изотопного обогащения	165
4.3.1. Электрохимические методы глубокой очистки неорганических веществ (165). 4.3.2. Высокочастотный разряд в элементном и изотопном обогащении (172).	
4.4. Нетрадиционный подход к решению проблемы комплексной переработки торийсодержащих ядерных сырьевых материалов	175
Заключение.	180
Список литературы	181

Предисловие

Формирование и эволюция нестационарных электрических полей, а также их взаимодействие с веществом являются частью общего процесса перераспределения в пространстве электромагнитной энергии, который инициируется по тем или иным причинам. Поэтому изучение процессов, сопровождающих взаимодействие электрических и магнитных полей, как, впрочем, и электромагнитных волн, с веществом представляет особый интерес. Приняв во внимание существующие на данный момент проблемы, можно утверждать, что экспериментальные и теоретические исследования процессов, сопровождающих взаимодействие нестационарных электрических, магнитных полей и электромагнитных волн с веществом, с учетом наличия и особенностей внутренней микро- и наноструктуры вещества будут еще долго приносить новые, в том числе и весьма неожиданные результаты.

Настоящая книга содержит информацию как экспериментального, так и теоретического характера. Она посвящена главным образом обнаружению и изучению нового эффекта — индуцированного дрейфа, вызванного действием периодических электрических и магнитных полей на структурированные растворы солей в жидких полярных диэлектриках.

Авторы попытались уделить основное внимание объяснению явлений с физической точки зрения, как правило опуская детали теоретических построений и математические расчеты. Это сделано для того, чтобы книга оказалась доступной широкой аудитории, включая студентов экспериментального профиля подготовки, а также для того, чтобы помочь читателю сориентироваться в многосторонней тематике, затрагиваемой при изучении подобных процессов.

М. А. Казарян, И. В. Ломов, И. В. Шаманин

Введение

Действие электрического и магнитного полей, а также электромагнитных волн на вещество являлось предметом фундаментальных и прикладных исследований на протяжении всей истории человечества. Так, во все времена существования человека разумного возникали вопросы, связанные с последствиями действия на окружающую действительность солнечного излучения. Фундаментальными подобные исследования останутся до тех пор, пока не станет ясно, в каких случаях можно считать, что действующее на вещество электромагнитное поле слабо изменяет его свойства. Предположение о том, что внешнее поле не изменяет свойств вещества, означает, что действующие внутри вещества микрополя считаются очень большими по сравнению с внешним полем, в результате чего влияние последнего на вещество мало. В подобном случае сохраняется возможность феноменологического описания вещества в условиях действия внешних полей с помощью определяемых экспериментально нелинейных восприимчивостей [1]. При этом существуют эффекты, указывающие на то, что одновременное действие на вещество двух полей приводит к результату, не совпадающему с результатом независимого действия каждого из этих полей. Для объяснения данного факта разработан аппарат нелинейной электродинамики. Подчеркнем, что вопрос, обозначенный выше, по-прежнему остается открытым.

Раствор является смесью как минимум двух веществ. Следует обратить внимание на тот факт, что действие одного и того же поля на эти вещества по отдельности может и не вызывать никаких изменений их свойств, тогда как его действие на их смесь приводит к необратимым изменениям. Для описания данного явления используется привычный аппарат физики, составляющий, например, основу электрохимии. Заметим, что структура раствора как таковая не играет особой роли в описании наблюдаемых изменений. Основы теории электричества незыблемы [2], и их простое переложение на электрические явления в растворах кажется вполне естественным.

При изучении действия внешних электрических, магнитных и электромагнитных полей на растворы возникают следующие вопросы.

Во-первых, какие поля и какой интенсивности изменяют свойства раствора?

Во-вторых, как поле действует на смесь веществ, а точнее, как оно действует на каждое из веществ, которые смешаны и взаимодействуют между собой?

В-третьих, что считать единицей структуры раствора, внутри которой внешнее поле не действует, а в целом на раствор — действует?

Наконец, чего ожидать от действия внешнего поля на раствор?

Попытки, в том числе и успешные, ответить на каждый из перечисленных вопросов в отдельности или на несколько вопросов одновременно являются предметом многих исследований в физике, химии, биологии. Эти вопросы возникли и при интерпретации результатов экспериментов, проведенных авторами, которые изначально не ставили перед собой цели найти на них ответ.

В экспериментах, направленных на изучение действия внешнего периодического электрического поля с частотой до 10 кГц на нормальные ($pH = 7$) растворы солей, случайно был обнаружен любопытный эффект. Он состоял в следующем.

Поле создавалось двумя плоскими металлическими пластинами, между которыми помещался диэлектрический сосуд, заполненный водным раствором соли. Электрический контакт между пластинами и раствором отсутствовал. Периодический электрический сигнал создавался генератором напряжений. Через определенные промежутки времени производился отбор проб раствора для определения его кислотно-щелочных свойств. Они оставались практически неизменными.

В одном из экспериментов было отмечено, что раствор, находящийся ближе к одной из пластин, приобрел щелочные свойства. После выключения генератора (на следующий день) раствор имел нормальные свойства. Включение генератора и действие поля в течение нескольких часов вновь вызывали появление щелочных свойств в пробе, отобранной ближе к пластине. Ранее подобного поведения раствора не отмечалось.

На выяснение причин данного эффекта ушло достаточно много времени. Как оказалось, причина была одна и она была проста: неисправность генератора привела к тому, что начиная с определенного момента времени он формировал искаженный периодический сигнал (один из полупериодов синусоидального электрического сигнала имел меньшую амплитуду).

Однако эта случайность привела к тому, что действие внешнего периодического электрического поля, особенностью которого является неравенство амплитуд напряжения в полупериодах,

на растворы солей в воде, а затем и в других диэлектрических жидкостях стало предметом исследований авторов. Эксперименты вызывали новые вопросы, поиски ответов на них приводили к новым теоретическим результатам, которые, в свою очередь, порождали новые эксперименты. Результаты теоретической и экспериментальной частей проведенных исследований и представлены в настоящей книге.

Большинство приложений различных физических явлений и процессов в науке, технике и технологиях базируется на том, что при каком-либо инициирующем действии происходит цепь последовательных событий, приводящих в итоге к требуемому результату. В такой цепи событий обязательно присутствует звено, в котором задействовано вещество как таковое в том или ином физическом состоянии и агрегатной форме. Вещество может служить просто посредником. В этом случае, выполнив свою функцию, оно останется тем же веществом. Простой пример — вещество проводника, по которому проходит ток, не вызывающий его значительного разогрева. В других случаях вещество, выполняющая свою функцию, претерпевает качественные изменения. То же самое вещество проводника, по которому проходит значительный ток, может за несколько микросекунд перейти в плазменное состояние. Это так называемый электрический взрыв проводников.

В первом случае вещество может выполнить функцию проводника направленного движения электронов в ограниченном объеме многократно, а во втором — только один раз. С точки зрения техники и технологий удобно, чтобы вещество многократно выполняло свою функцию, сохраняя при этом свои свойства перед очередным действием.

Исследования, выполненные авторами, позволяют предположить, что вещество растворителя выполняет функцию посредника. Молекулы растворителя позволяют внешнему полю непрямым образом действовать на единицы структуры (атомы, молекулы) растворенного вещества [3]. В химии это явление широко используется, только внешнее действие здесь вызвано не электрическим, магнитным или электромагнитным полем, а другими факторами. Закономерности, обнаруженные авторами и представленные в книге, могут оказаться полезными при создании новых химических или физико-химических технологий. Во всяком случае, одно из описанных нами возможных приложений в химии редких, рассеянных и радиоактивных элементов достаточно хорошо обосновано.

Глава 1

ЭФФЕКТЫ, ВЫЗВАННЫЕ ДЕЙСТВИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ НА ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ СОЛЕЙ

Хронологически первыми проводились эксперименты по изучению действия асимметричного электрического поля на нормальный водный раствор LiCl ($\text{pH} = 7$). Использовалось электрическое поле со следующими параметрами: частота 40 кГц; напряженность поля в положительном полупериоде 2 В/см; коэффициент асимметрии 0,75. Под коэффициентом асимметрии понимается отношение амплитуд отрицательного и положительного полупериодов.

Для простоты изложения будем называть периодический синусоидальный электрический потенциал, у которого абсолютные значения амплитуд полупериодов равны, симметричным (рис. 1.1, а), потенциал, у которого они отличаются, — асимметричным (рис. 1.1, б), а соответствующие электрические поля между потенциальным и заземленным электродами (изолированными от раствора) — симметричным и асимметричным.

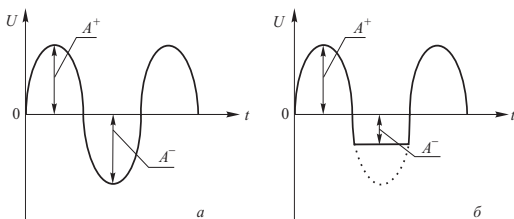


Рис. 1.1. Зависимости симметричного (а) и асимметричного (б) электрических потенциалов от времени (A^+ и A^- — амплитуды положительного и отрицательного полупериодов)

1.1. Техника экспериментов

Изучение процессов, сопровождающих действие внешнего периодического электрического поля на растворы солей, проводилось в гомеотропной геометрии: направление вектора напряженности электрического поля было перпендикулярным плоскости электродов. Экспериментальная установка включала в себя многосекционную ячейку (рис. 1.2). Габаритные размеры ячейки: длина: ширина: высота — 23:10:10 см. Полезный (внутренний) объем 735 мл. Ячейка состоит из семи секций 2 (с1–с7). Между секциями расположены изолированные от раствора потенциальные сетки высокой прозрачности 4. В качестве материала для изготовления секций был выбран винипласт, который имеет высокую электрическую прочность, инертен в различных средах (в том числе и агрессивных) и технологичен. В качестве материала для боковых крышек 1 использовался листовой полиметилметакрилат толщиной 30 мм. Указанная толщина крышек исключает неравномерное сжатие секций при сборке и, как следствие, возможную негерметичность. Для уплотнения соединений секций и потенциальных сеток применялись резиновые прокладки 3, вырезанные из листовой резины толщиной 1 мм.

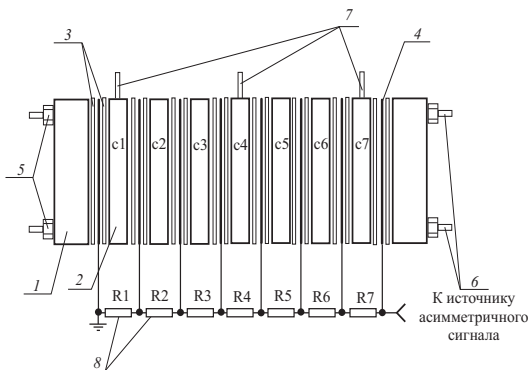


Рис. 1.2. Многосекционная ячейка: 1 — боковые крышки; 2 — секции; 3 — резиновые прокладки; 4 — сетки высокой прозрачности; 5 — гайки увеличенной длины; 6 — стальные шпильки; 7 — патрубки

Ячейка собирается при помощи четырех стальных шпилек 6. Для усиленной стяжки ячейки применяются гайки увеличенной длины 5. С целью исключения электрического контакта металлических шпилек с потенциальными сетками их основная часть, находящаяся в пределах ячейки, не имеет резьбы и электроизолирована. В крайних и центральной секциях выполнены патрубки 7 из химического стекла. Они обеспечивают подачу и отбор раствора, а также отбор проб для анализа.

Прокачка раствора обеспечивается с помощью перистальтического насоса НП-70П-0,5.

На рис. 1.3 показана секция — составная часть ячейки. Наружные размеры секции: длина 100 мм; ширина 100 мм; толщина 20 мм. Внутренние размеры: 70х70 мм.

Кроме того, экспериментальная установка включает электрическую часть. Ее функциональное назначение — формирование электрического сигнала с необходимыми параметрами и подача этого сигнала на потенциальные сетки ячейки.

Основной частью электрооборудования установки является устройство формирования асимметричного сигнала высокого напряжения. В связи со специфичностью требуемых параметров такого аппарата в массовом исполнении найти не удалось. Проблема была решена путем целенаправленной разработки необходимого устройства.

Различные сигналы можно формировать с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и компьютера, воспользовавшись его памятью и сервисными возможностями для подготовки и хранения необходимых сигналов в цифровом виде. Структурная схема подобного устройства приведена на рис. 1.4.

Превратить хранящийся в памяти персонального компьютера (ПК) цифровой образ сигнала в напряжение можно с помощью платы аналогового вывода (ЦАП). Требуемая амплитуда сигнала достигается с помощью усилителя напряжения (УН).

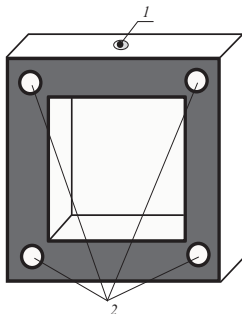


Рис. 1.3. Секция: 1 — технологическое отверстие для подачи-отбора раствора, погружения в раствор анализирующих зондов и т. д.; 2 — отверстия под шпильки для сборки секций в ячейку

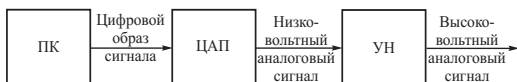


Рис. 1.4. Структурная схема формирования высоковольтного сигнала

Для получения аналогового сигнала необходимой формы было собрано устройство, унифицированная схема которого приведена на рис. 1.5. Цифровой код очередного значения формируемого сигнала поступает с параллельного порта компьютера на разъем XP1, запоминается в регистре DD1 и с помощью ЦАП DD2 и операционного усилителя DA2 преобразуется в аналоговый сигнал. Цепь R3C4 подавляет высокочастотные переходные процессы и сглаживает «ступеньки» выходного напряжения. Образцовое напряжение поступает на вывод 15 микросхемы DD2

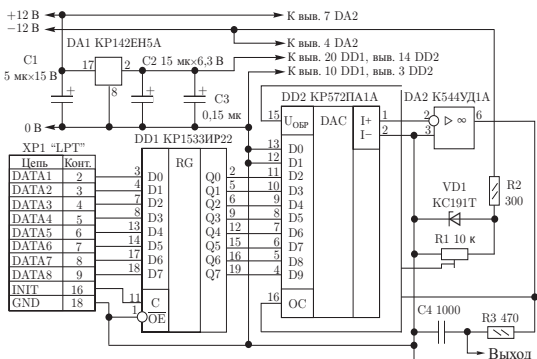


Рис. 1.5. Схема преобразования цифрового кода в аналоговый сигнал

от стабилизатора, состоящего из стабилизатора VD1 и резисторов R1 и R2. Подстроечным резистором R1 значение образцового напряжения можно изменять от 0 до -9 В. Таким образом регулируется амплитуда выходного сигнала. Микросхемы DD1 и DD2 питаются напряжением $+5$ В от интегрального стабилизатора DA1.

Максимальная частота квантования сигнала ограничивается в основном быстродействием ЦАП и параллельного порта ком-

пьютера. Примененный в устройстве ЦАП КР572ПА1А со временем установления выходного напряжения около 5 мкс позволяет довести ее до 200 кГц. Таким образом, верхняя граница частотного спектра формируемых сигналов может составлять 50–100 кГц. Нижняя же его граница ничем не ограничена. Если требуется внешняя синхронизация процесса, соответствующий сигнал подают на вывод 12 (цепь РЕ) разъема ХР1. Его логический уровень компьютер может определить, проанализировав разряд D5 кода, прочитанного из порта 379Н.

После получения на выходе устройства сигнала необходимой формы его амплитуда увеличивается до заданного уровня. Эта задача решается путем использования усилителя напряжения, обеспечивающего повышение амплитуды входного сигнала до 500 В.

На рис. 1.6 приведена осциллограмма сигнала с амплитудой 150 В, частотой 5 кГц и коэффициентом асимметрии 1, полученного с помощью вышеописанного устройства (ПК, ЦАП, усилитель напряжения). Осциллограмма построена с использованием осциллографа АСК-2031 и прилагаемого программного обеспечения. Развертка по амплитуде составляла 50 В/деление

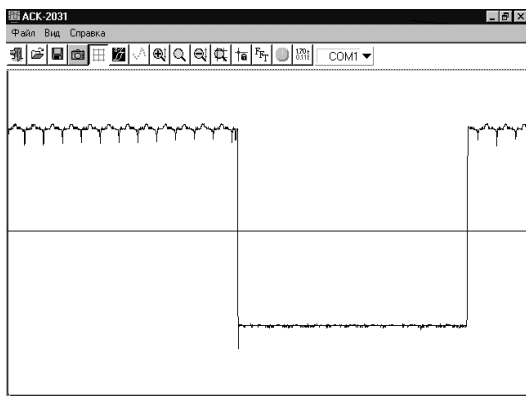


Рис. 1.6. Осциллограмма симметричного сигнала (частота 5 кГц; амплитуда 150 В)

(применялся стандартный делитель 1:10), развертка по времени — 20 мкс/деление. Под коэффициентом асимметрии подразумевается величина, равная отношению амплитуд полупериодов сигнала: $k_{\text{асим}} = A^-/A^+$, где A^+ , A^- — амплитуды положительного и отрицательного полупериодов соответственно. В данном случае $k_{\text{асим}}$ может принимать значения от 0 (амплитуда второго полупериода равна нулю) до 1 (сигнал симметричен). Время нарастания сигнала составляет порядка 1 мкс.

Искажения сигнала при амплитудном значении обусловлены особенностями применяемых элементов схемы усилителя. Проведенные замеры показывают, что они уменьшаются с увеличением частоты сигнала. Изменение коэффициента асимметрии не влияет на величину искажений. На рис. 1.7 представлена осциллограмма асимметричного сигнала ($k_{\text{асим}} = 0,5$) с амплитудой положительного полупериода 200 В и частотой 50 кГц. Время нарастания в этом случае составляет 0,5 мкс.

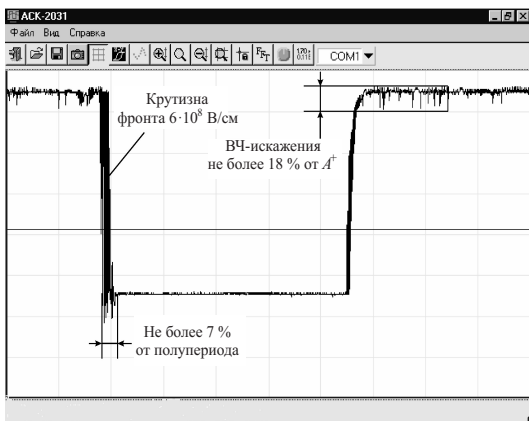


Рис. 1.7. Осциллограмма сигнала с $A^+ = 200$ В, $k_{\text{асим}} = 0,5$ и частотой 50 кГц

На рис. 1.8 приведена осциллограмма симметричного сигнала, амплитуда которого составляет 500 В, а частота — 50 кГц. С увеличением напряжения время нарастания остается на прежнем уровне (0,5 мкс), но искажения заметно уменьшаются.

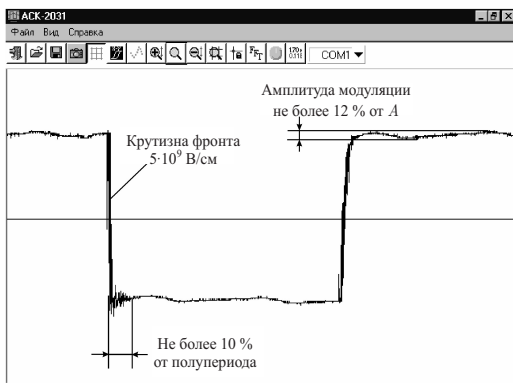


Рис. 1.8. Осциллограмма сигнала с $A^+ = 500 \text{ В}$, $k_{\text{асим}} = 1$ и частотой 50 кГц

Подача электрического сигнала на потенциальные сетки осуществлялась посредством резистивного делителя R1–R7 (цифра 8 на рис. 1.2).

Для установки необходимых параметров сигнала использовался осциллограф «Актаком» АСК-2031. Этот прибор имеет подходящий для проведения экспериментов набор функций: полоса частот 0–30 МГц; максимальный входной сигнал 40 В; цифровое хранение данных; вывод данных на печать или в ПК через порт RS-232.

Подготовка дистиллята производилась с помощью электрического аквадистиллятора ДЭ-4. Удельная электропроводимость (УЭП) производимой этим прибором воды составляет примерно 5 мкСм/см (УЭП водопроводной воды — порядка 400 мкСм/см). Соответствующие измерения проводились с помощью кондуктометра Анион 4120. Диапазон значений УЭП, измеряемых данным прибором, лежит в интервале от 0,001 до 100 мСм/см .

Взвешивание солей для приготовления исследуемых растворов осуществлялось на электронных весах SHIMADSU BX320H. Дискретность отсчета при взвешивании с ветрозащитным экраном составляла 1 мг.

При подготовке растворов применялась магнитная мешалка ПЭ-6110 с возможностью подогрева.

Для изучения процесса селективного дрейфа в асимметричном электрическом поле использовался раствор смеси солей элементов, близких по химическим свойствам. При этом целесообразно использовать соли, образованные одной кислотой и полученные в идентичных технологических процессах. Так, например, на начальном этапе исследовались параметры дрейфа сольватированных катионов Mg^{2+} и Ca^{2+} в водном растворе смеси солей $MgCl_2$ и $CaCl_2$. Применение схожих по химическим свойствам элементов, несомненно, усложняет поставленную задачу, но в то же время позволяет исключить из рассмотрения влияние отличий химических свойств на исследуемый процесс. Основная сложность при этом состоит в проведении анализа отобранных проб на предмет количественного содержания того или иного катиона. В случае раствора смеси солей $MgCl_2$ и $CaCl_2$ в качестве метода анализа отобранных проб был выбран рентгено-флуоресцентный. Данный метод позволяет оценить количественное содержание элемента по интенсивности его линий в характеристическом спектре.

В ходе экспериментов осуществлялись измерения электрического тока, индуцированного разностью потенциалов раствора, находящегося в разных секциях ячейки. Измерения тока проводились каждые 20 мин путем быстрых погружения в объем секций и извлечения из него инертных электродов. В измерениях использовался мультиметр Protek 506.

На рисунках 1.9 и 1.10 приведены зависимости от времени тока, индуцируемого разностью потенциалов раствора в различных секциях ячейки, которая, в свою очередь, возникает под действием асимметричного электрического поля. Циркуляция отсутствует (насос отключен).

Через 6–7 ч действия асимметричного электрического поля величина индуцируемого тока стабилизируется у значения $1,8 \pm 0,2$ мкА. При отключении генератора ток исчезает, а потенциал сетки между секциями 5 и 6 относительно заземленной сетки составляет $0,58 \pm 0,02$ В. Через 18 ч исчезает и потенциал. В момент отключения генератора проба из секции 6 окрашивает фенолфталеин в малиново-красный цвет. Через 18 ч фенолфталеин не окрашивается — раствор становится нормальным. При уменьшении температуры окружающей среды на 10°C аккумулярованная избыточная концентрация катионных аквакомплексов у потенциальной сетки сохраняется в течение 24–26 ч. Это объясняется уменьшением интенсивности хаотического теплового движения и, следовательно, увеличением времени релаксации.

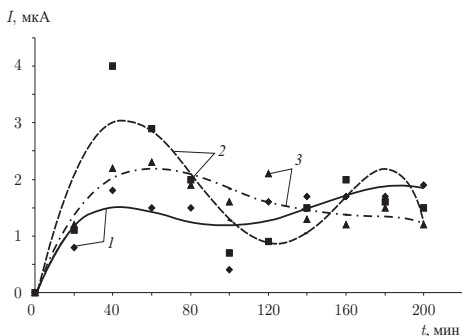


Рис. 1.9. Ток между секциями 2 и 3 (1), 3 и 4 (2), 4 и 5 (3), индуцируемый при наложении асимметричного электрического поля ($E^+ = 2 \text{ В/см}$; $\nu = 40 \text{ кГц}$; $k_{\text{асим}} = 0,75$); линии — аппроксимации полиномом 5-й степени

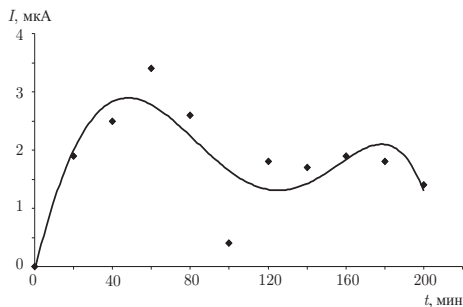


Рис. 1.10. Ток между секциями 2 и 5, индуцируемый при наложении асимметричного электрического поля ($E^+ = 2 \text{ В/см}$; $\nu = 40 \text{ кГц}$; $k_{\text{асим}} = 0,75$); линия — аппроксимация полиномом 5-й степени

Проведенные эксперименты показали, что под действием асимметричного электрического поля происходит дрейф сольватированных катионов. При наложении на раствор соли асимметричного электрического поля индуцируется селективный дрейф разноименно заряженных аквакомплексов: катионных и анионных. В этом случае наблюдается разделение направлений

дрейфа: в сторону заземленного и в сторону потенциального электродов. Таким образом, электрофизические свойства раствора у электродов различаются: нормальный раствор у одного из электродов приобретает щелочные, а у другого — кислотные свойства. Раствор аккумулирует электрическую энергию.

1.2. Электроиндуцированный дрейф сольватированных катионов кальция и магния

Одним из этапов исследования параметров дрейфа катионных аквакомплексов в асимметричном электрическом поле являлись эксперименты с растворами смеси солей CaCl_2 и MgCl_2 . Состав проб определялся посредством рентгено-флуоресцентного анализа (РФА). Последний проводился на установке, в которой характеристический спектр возбуждался тормозным излучением хромового анода и регистрировался планарным полупроводниковым (Si(Li)) детектором БДЕР КА 7К. При этом использовался следующий режим рентгеновской трубки: 20 кВ; 100 мкА.

С помощью РФА были исследованы пробы растворов после экспериментов с параметрами:

• концентрация CaCl_2 , г/л	2,0
• концентрация MgCl_2 , г/л	2,0
• частота электрического поля, кГц	5
• температура окружающей среды, °С	22
• давление, мм. рт. ст.	747–752
• амплитуда первого (положительного) полупериода, В/см	5,7–14,5
• коэффициент асимметрии электрического сигнала	0; 0,5
• время воздействия электрического поля, ч	6

Чтение и обработка полученных спектров производились посредством программы SPECTR7. Результат обработки одного из них представлен на рис. 1.11.

Интенсивность линии (пика) элемента прямо пропорциональна его концентрации. Ввиду возможности вызываемых многими факторами изменений параметров установки РФА в течение измерений интенсивности линий кальция и магния нормировались на интенсивность линии аргона. При этом предполагалось, что содержание аргона в воздухе во время измерений постоянно (0,93 %).