

**ЭЛЕКТРОХИМИЯ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Научная школа проф. И.К.Маршакова



**ELECTROCHEMISTRY
OF METALS AND ALLOYS**

Science school of prof. I.K.Marshakov

Электрохимия представляет собой весьма специфическую химическую науку. Она имеет дело только с гетерогенными процессами, когда на границе фаз существует скачок электрического потенциала, и именно этот скачок потенциала является дополнительным параметром, который в значительной степени определяет термодинамические и кинетические свойства электрохимических систем. Особенно широкие возможности открываются по регулированию химических свойств систем, когда фазы обладают заметной электропроводностью, а именно когда одна из них (электрод) представляет собой металл или сплав с электронной проводимостью, а другая — ионный проводник (раствор электролита или расплав солей). Наличие в такой системе способности проводить электрический ток позволяет варьировать величину межфазного электрического скачка (величину электродного потенциала) и тем самым через изменение химического сродства направлять реакцию в нужную сторону, а также изменять скорость процесса по экспоненциальному закону. Это открывает широкие возможности для изучения фундаментальных свойств химических систем, а также позволяет создать целый ряд электрохимических технологий, которые в XXI веке будут являться доминирующими в производстве и обработке металлов (гидрометаллургия, гальванотехника, электрометаллургия, электрохимическое фрезерование, анодное окислирование, создание химических источников тока и т.д.).

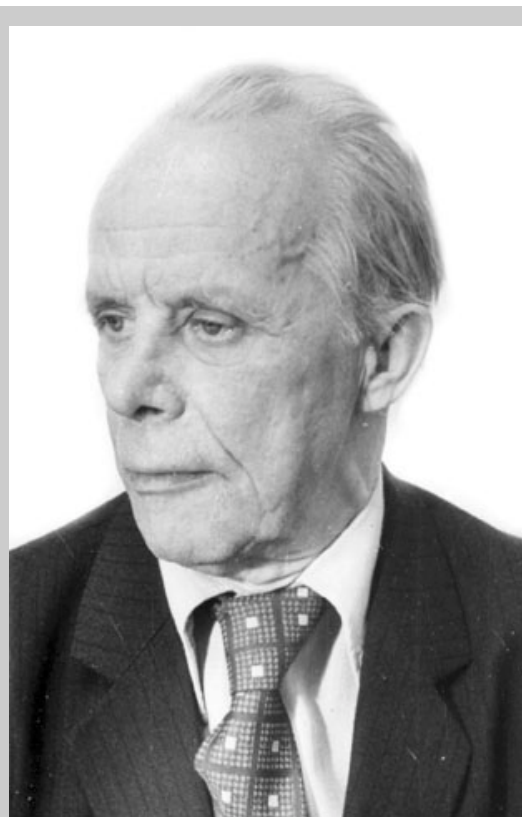
В процессе развития электрохимической науки, наряду с изучением термодинамики и кинетики электродных процессов, развивались новые направления, которые в настоящее время оформились в отдельные самостоятельные разделы электрохимии: электрохимия растворов электролитов и расплавов солей, электрохимический анализ (полярография, потенциометрия, кулонометрия и т.д.), электрохимическая коррозия металлов, электрохимический синтез органических соединений, мембранная электрохимия и др. Наиболее молодым и весьма перспективным является новое научное направление — электрохимия металлов и сплавов, которое объединяет исследования, связанные с анодным окислением металлов (сплавов) и катодным восстановлением окисленных форм металла.

Первые исследования в области электрохимии металлов на химическом факультете Воронежского госуниверситета относятся к 1939-1941 гг., когда аспирантом А.Я.Шаталовым при научном руководстве профессора Н.В.Култашева были выполнены измерения электродных потенциалов сурьмы и ряда других металлов. По этим результатам А.Я.Шаталовым была защищена кандидатская диссертация. Эти работы были прерваны в период Великой Отечественной войны и возобновились только в 1950 году доцентом кафедры физической и коллоидной химии А.Я.Шаталовым. Они были посвящены изучению коррозионного поведения и стационарных потенциалов металлов в растворах с различной концентрацией водородных ионов. Было изучено коррозионное поведение более 20 металлов и проанализировано влияние разных внешних и внутренних факторов на кинетику коррозионных процессов. Это было время, когда идея академика А.Н.Фрумкина об использовании электрохимической кинетики для объяснения растворения жидких амальгам активно внедрялась в жизнь в работах А.И.Шульгина, Я.И.Дурдина и Я.М.Колотыркина. В тоже время в исследованиях Г.В.Акимова и Н.Д.Томашова

успешно развивались представления об электрoхимической гетерогенности поверхности твердого металла и о применимости в этом случае электрoхимической кинетики. На этом фоне защита А.Я.Шаталовым докторской диссертации «Исследование коррозионного поведения и стационарных потенциалов металлов в растворах с различной концентрацией водородных ионов» в Институте физической химии АН СССР (г.Москва, 1955 г) было заметным научным событием, которое утверждало возможности применения электрoхимической кинетики для описания коррозионных процессов.

После защиты докторской диссертации А.Я.Шаталов становится профессором и заведующим вновь образованной кафедры физической химии. С этого времени широким фронтом развиваются работы по оригинальным проблемам электрoхимии и коррозии металлов. Прежде всего, были поставлены исследования по изменению природы и кинетики электродных процессов, которое наблюдается из-за различного доступа к

поверхности металла компонентов раствора и из-за разных условий отвода продуктов электродных реакций. Возникающие различия приводят к образованию гальванических элементов, вызывающих на практике серьезные коррозионные разрушения. Например, такие коррозионные элементы возникают из-за образования на металлах осадков, наличия в конструкции зазоров или щелей, разной температуры металла и т.д.. В результате на одних участках поверхности металла преимущественно протекают анодные процессы, а на других — катодные. В итоге коррозионное разрушение локализуется на ограниченной площади и поэтому является очень опасным. По этим проблемам были защищены кандидатские диссертации: асс. И.К.Маршаковым («Щелевая коррозия металлов», 1958 г.), асс. В.Н.Гладышевой («Пары дифференциальной аэрации на железе», 1962 г.), асп. Т.А.Кравченко («Коррозия металлов при неравномерной концентрации окислителей в растворе», 1964 г.), асп. С.А.Калужиной («Термогальваническая коррозия металлов», 1964 г.). Исследования по термогальванической коррозии металлов и кинетике процессов в неизотермических электрoхимических системах развивались проф. А.Я.Шаталовым и доц. С.А.Калужиной на протяжении многих лет. По



Проф. Анатолий Яковлевич Шаталов
11.02.13 — 23.06.1985

этой тематике были защищены кандидатские диссертации аспирантами Г.А.Тюриной, Л.И.Бельчинской, Э.В.Склярской, а в 1993 году С.А.Калужина защитила докторскую диссертацию «Кинетика процессов в неизотермических электрохимических и коррозионных системах».

В 60-е годы на кафедре были начаты исследования по пассивности металлов, которые продолжаются до настоящего времени. Под руководством А.Я.Шаталова были защищены кандидатские диссертации по анодному окислению металлов асс. В.В.Малыгиным, асп. Т.П.Бондаревой, асс. В.Ю.Кондрашиным, асп. Г.М.Ремизовым, а над проблемой анодно-анионной активации продолжают работать проф. И.К.Маршаков (асп. Е.Ю.Ушакова и асп. В.М.Самарцев) и проф. С.А.Калужина (асп. И.В.Кобаненко).

В эти же годы на кафедре возникает еще одно направление – электрохимия твердых редокситов и ионообменных мембран. Научное руководство осуществлялось проф. А.Я.Шаталовым. Исследования получили широкое признание как у нас в стране, так и за рубежом. По изучению кинетики и динамики окислительно-восстановительных реакций в медь-содержащих редокситах защитили кандидатские диссертации 8 человек (асп. Г.Г.Кривнева, З.Ф.Александрова, Н.В.Соцкая, О.В.Слепцова и др.). Весьма успешно работала в этой области доц. Т.А.Кравченко, и в 1986 году она защитила докторскую диссертацию «Кинетика и механизм стадийных окислительно-восстановительных реакций и диффузионных процессов в твердых редокситах». В настоящее время под ее научным руководством исследования в этом направлении успешно развиваются и приобретают еще боль-



Проф. С. А. Калужина с любимой аспиранткой И. Е. Рыжковой



Проф. Т. А. Кравченко в раздумьях о перспективах науки.

шую научную актуальность. Стало ясным, что медь-содержащий твердый редоксит представляет собой ультрадисперсный медный электрод, обладающий специфическими термодинамическими и кинетическими свойствами и, прежде всего, весьма отрицательным потенциалом, который на 50-100 мВ отрицательнее, чем у массивного медного электрода. Проведенные исследования позволяют создавать новые технологии получения таких твердых редокситов и их использования, особенно в условиях катодной поляризации.

Исследования по электрохимии мембран этого периода завершились защитой кандидатских диссертаций О.В.Бобрешовой, М.А.Василевской и др., а в 1990 году О.В.Бобрешова защитила докторскую диссертацию «Нестационарные явления при ионном переносе в электромембранных системах». В настоящее время она работает на кафедре аналитической химии.

В 1958 году на кафедре доцентом И.К.Маршаковым были начаты исследования по кинетике анодного растворения металлов и сплавов в активном состоянии. Направление оказалось актуальным. По этой тематике под руководством И.К.Маршакова защищено более 20 кандидатских диссертаций, а в 1969 году он защитил докторскую диссертацию «Коррозия твердых растворов и интерметаллических соединений». Из работ этого цикла можно отметить экспериментальные исследования по анодному поведению латуни (асп. В.Н.Богданов, А.П.Каравая, В.С.Большев, А.П.Полунин, Г.А.Боков), в которых были созданы основные научные предпосылки для развития современных представлений об анодном растворении интерметаллических фаз. Более глубокие доказательства различных

механизмов растворения сплавов были получены в работах аспирантов В.И.Вигдоровича, С.М.Алейкиной, Н.М.Тутукиной, Н.В.Вязовиной и др. Заметный вклад в построение теории анодного растворения гомогенных сплавов с аналитическим описанием ряда кинетических закономерностей было сделано в докторской диссертации А.В.Введенского «Термодинамика и кинетика селективного растворения бинарных твердых растворов» (1994 г.). В ней впервые представлена достаточно полная и последовательная физико-химическая модель анодного растворения гомогенного сплава, учитывающая разработанные к этому времени на кафедре теоретические представления о химическом сопряжении парциальных электродных реакций растворения компонентов. Получено экспериментальное подтверждение проявления эффекта сопряжения на этапах твердофазно-диффузионной и кристаллизационной кинетики, обнаружено явление самопроизвольной химической гомогенизации неравновесного поверхностного слоя сплава после прекращения анодного воздействия (асп. Ю.А.Стекольников, И.В.Анохина, В.И.Стороженко, А.А.Истомин).

Удалось дать современное научное обоснование известному уже около ста лет эмпирическому правилу Таммана, согласно которому коррозионная стойкость твердого раствора в пассивирующей агрессивной среде скачкообразно изменяется по достижению определенного химического состава металлической фазы, зачастую одинакового для различных систем. Оказалось, что истинная причина столь своеобразного коррозионного поведения сплавов систем Cu-Au, Ag-Au и им подобных определяется особенностями протекания анодного процесса растворения благородной составляющей сплава. При определенных, так называемых «критических» потенциалах и зарядах, характерных для каждого сплава, степень структурно-вакансионной дефектности поверхностного слоя становится столь значительной, что происходит разрушение такого слоя, сопровождающееся увеличением площади активной поверхности и резким ростом плотности тока. В условиях саморастворения коррозионный потенциал сплава может превышать критический, если в среде присутствует достаточно эффективный окислитель.

В исследованиях А.В.Введенского также показано, что состояние неравновесного слоя, образующегося при селективном растворении гомогенного сплава, определяет особенности не только его коррозионного поведения, но и иные электрохимические свойства. Меняется, в частности, электрокаталитическая активность сплавов, как было продемонстрировано в кандидатской диссертации Г.Е.Щеблыкниной на примере анодного дегидрирования шавелевой кислоты. Весьма специфична адсорбция поверхностно-активных веществ и структура двойного слоя на сплавах системы Ag-Au (кандидатская диссертация асс. Е.В.Бобринской, 2000 г.)

Интересно отметить, что исследование кинетики анодного растворения гомогенных сплавов позволило обнаружить область знаний, представляющую интерес вообще для всей электрохимии. Так, еще в первых работах по анодному поведению латуни в хлоридных растворах было замечено, что медь из латуни ионизируется при электродных потенциалах, которые заметно отрицательнее значений равновесного медного электрода в данных условиях. Казалось бы, этого не могло быть, так как это противоречит II началу равновесной термодинамики.

В 1982 году доц. В.Ю.Кондрашин развил представления о том, что ионизация меди из латуни при столь отрицательных потенциалах возможна за счет частичного переноса энергии, которая освобождается при ионизации второй компоненты латуни – цинка. Связующим звеном этих двух реакций является виртуальная «частица» – вакансия кристаллической решетки. В настоящее время доц. В.Ю.Кондрашин продолжает развивать и совершенствовать эту идею, выполняя целый ряд весьма оригинальных работ по кинетике анодного растворения интерметаллических фаз и разработке нового принципа предотвращения коррозии сплавов путем воздействия непосредственно на канал сопряжения реакции (асп. Е.А.Овчинникова, 2000 г.).

Идея химического сопряжения парциальных реакций ионизации компонентов твердых растворов и интерметаллидов, ее математическое описание с привлечением метода кинетических диаграмм и применение к сплавам различных систем успешно развивается доц. И.Д.Зарцыным и асс. И.В.Протасовой. В докторской диссертации И.Д.Зарцына «Растворение металлов и сплавов в электролитах и химическое сопряжение парциальных реакций» (1999 г.) и в кандидатской диссертации асп. А.Е.Шугурова эта идея была распространена вообще на любые электрохимические процессы, одновременно протекающие на электроде. Особенно успешным достижением была теоретическая интерпретация аномального растворения железа при катодной поляризации как результата химического сопряжения процессов анодного растворения железа и катодного восстановления воды до водорода через общие для обеих реакций промежуточные частицы. Теперь на очереди стоят вопросы кинетики анодного растворения металла при сопряжении с



Наконец-то нужная кривая!



Мы не согласны с «железной логикой»!
(к.х.н. А. Е. Шугуров, проф. И. К. Маршаков)

конкурирующими процессами адсорбции пассивирующих частиц, реакций растворения металлов платиновой группы и выделения кислорода и другие актуальные электрохимические задачи.

Сотрудники кафедры постоянно выступают с научными докладами как в нашей стране, так и за рубежом на конференциях и совещаниях. Для электрохимиков особенно престижным является участие в работе Международного электрохимического общества. В совещаниях этого общества и других международных конференциях приняли участие с докладами Н.В.Вязовикина и И.К.Маршаков (Венгрия, 1978г.), В.Ю.Кондрашин, А.В.Введенский и И.Д.Зарцын (СССР, Вильнюс, 1986 г.), С.А.Калужина, И.В.Кобаненко (Швеция, 1997 г.), а также многие другие сотрудники. В 1986 году проф. И.К.Маршаков был удостоен чести выступить с пленарной лекцией на заседании Международного электрохимического общества (г. Вильнюс), в которой был сделан обзор работ сотрудников кафедры по кинетике анодного растворения твердых растворов и интерметаллидов.

Научные статьи сотрудников кафедры в основном публикуются в журналах Российской Академии Наук («Журнал физической химии», «Электрохимия», «Защита металлов»). В общей сложности за последние 10 лет было опубликовано более 400 статей. Имеются публикации и в зарубежных изданиях: А.В.Введенский, И.К.Маршаков («Electrochemica Acta»), С.А.Калужина и И.В.Кобаненко («Труды международной конференции электрохимического общества», Швеция),

Т.А.Кравченко (сборник «Ion Exchange Highlights of Russian Science», США) и др.

Наиболее важные результаты исследований обобщены в пяти монографиях. Так, в работе Т.А.Кравченко и Н.И.Николаева «Кинетика и динамика процессов в редокситах» (г. Москва, «Химия», 1982 г.) вскрывается электрохимический механизм окислительно-восстановительных превращений в редокситах, количественно описываются процессы сорбции компонентов раствора и приводятся практические рекомендации для инженерно-технических работников. В монографии И.К.Маршакова, А.В.Введенского, В.Ю.Кондрашина и Г.А.Бокова «Анодное растворение металлов и сплавов» (г. Воронеж, Изд-во ВГУ, 1988 г.) обобщен многолетний опыт исследований коррозии сплавов, сформулированы термодинамические и кинетические предпосылки селективного растворения сплавов и определены механизмы этого растворения. В книге впервые были описаны механизм начального селективного растворения с образованием обогащенного электроположительным компонентом поверхностного слоя; равномерное растворение компонентов сплава, соответствующее его химическому составу; селективное растворение с фазовым превращением в поверхностном слое и псевдоселективное, когда на равномерное растворение компонентов накладывается восстановление ионов электроположительного металла.

За последние 5 лет сотрудники кафедры получили гранты Международного научного фонда (1995 г.), Российского фонда фундаментальных исследований



**Мозговой штурм электрохимических реакций
(проф. А. В. Введенский, доц. В. Ю. Кондрашин, проф. И. К. Маршаков)**

(1994 – 1995 гг.; 1995 – 1996 гг. и 2000 г.), а также Конкурсного центра фундаментальных исследований при Минобразовании РФ (1994 – 2000 гг.).

Определенным признанием школы воронежских электрохимиков является членство проф. И.К.Маршакова в Координационном совете Российской АН по электрохимии, участие проф. А.В.Введенского и проф. И.К.Маршакова в редакционном совете журнала «Конденсированные среды и межфазные границы», проф. И.К.Маршакова – в редакционном совете журнала РАН «Защита металлов», а также утверждение проф. А.В.Введенского членом Международного электрохимического общества.

С начала научных исследований в области электрохимии металлов и сплавов сотрудники кафедры защитили 8 докторских и более 50 кандидатских диссертаций. В значительной мере усилиями сотрудников кафедры обеспечивается успешное функционирование докторского совета Д.063.48.05 по специальностям 02.00.04 – физическая химия и 02.00.05 – электрохимия. Заместителем председателя этого совета является проф. И.К.Маршаков.

Бесспорной заслугой коллектива кафедры является то, что почетные звания «Заслуженный деятель науки РФ» были присуждены профессорам И.К.Маршакову (1988 г.) и Т.А.Кравченко (2000 г.), а также присуждение проф. И.К.Маршакову Государственной научной стипендии за 1997 – 2000 гг. и 2000 – 2003 гг.

Упорный труд в науке коллектив кафедры физической химии сочетает с преподавательской деятельностью. Для преподавателей кафедры характерен высокий профессиональный уровень. В течение многих лет кафедрой заведовал профессор И.К.Маршаков, а с 2000 года возглавляет коллектив профессор А.В.Введенский. Наряду с ними на кафедре работают профессора Т.А.Кравченко, С.А.Калужина и И.Д.Зарцын, а также доценты В.Ю.Кондрашин и Н.В.Соцкая, ассистенты Н.М.Тутукина (к.х.н.), И.В.Протасова (к.х.н.), Е.В.Бобринская (к.х.н.), О.А.Козадеров. В числе научных сотрудников кафедры к.х.н. О.В.Слепцова, к.х.н. А.Е.Шугуров и 12 аспирантов. Преподаватели кафедры читают лекции по физической химии, квантовой механике и химии, строению вещества, физической и коллоидной химии (на биологическом и фармацевтическом факультетах), информатике, новым информационным технологиям, теоретической и практической электрохимии и др. Следует отметить оригинальные и актуальные в научном отношении спецкурсы проф. А.В.Введенского «Методы электрохимических исследований», проф. И.Д.Зарцына «Основы термодинамики необратимых процессов», «Сопряжение электродных процессов», проф. И.К.Маршакова «Современные проблемы электрохимии металлов и сплавов», проф. Т.А.Кравченко «Химия сорбентов», асс. к.х.н. И.В.Протасовой «Компьютерное решение электрохимических задач».

С момента начала специализации в области электрохимии металлов и сплавов (1956 г.) через кафедру прошло около тысячи выпускников. Десятки из них были аспирантами или соискателями нашего университета или других вузов, стали кандидатами наук, и многие защитили докторские диссертации (Ю.Н.Михайловский, Н.И.Исаев, И.К.Маршаков, В.И.Вигдорович, Л.Е.Цыганкова, Т.А.Кравченко, А.Н.Саприн, С.А.Калужина, О.В.Бобрешова, И.Я.Миттова, Л.И.Бельчинская, А.И.Маршаков, Н.В.Вязовикина и др.).

Коллектив кафедры уделяет большое внимание методической работе. Опубликовано 6 учебных пособий. Книга А.Я.Шаталова «Введение в электрохимическую термодинамику» (Москва, «Высшая школа», 1984 г., тираж 4 тыс.) до сих пор широко используется в университетах России. Но особенно широкую популярность получил «Практикум по физической химии», написанный А.Я.Шаталовым и И.К.Маршаковым. Он был издан в 1968 году издательством «Высшая школа» тиражом 30 тыс. экземпляров, а после переработки и дополнений вновь издан в 1975 году тиражом 27 тыс. экземпляров.

За последние 10 лет все члены кафедры выпускали методические указания по читаемым курсам. Особо следует отметить коллективную работу «Методические указания к практикуму по физической химии», состоящую из трех частей. В этой работе учтены все новейшие методические разработки кафедры, а также последние научные достижения в физической химии и особенно в области электрохимии, полученные сотрудниками кафедры.

Монографии и учебные пособия, выпущенные сотрудниками кафедры физической химии:

1. Шаталов А.Я., Маршаков И.К. Руководство к практическим работам по физической химии: Электрохимия, коррозия металлов / Воронеж: изд-во ВГУ, 1962.
2. Шаталов А.Я. Введение в электрохимическую термодинамику. – Учебное пособие / М.: Высшая школа. 1984.
3. Шаталов А.Я. Электрохимические основы теории коррозии металлов / Воронеж: изд-во ВГУ, 1971.
4. Маршаков И.К. Термодинамика и коррозия сплавов: Учебное пособие / Воронеж: Изд-во ВГУ, 1983.
5. Маршаков И.К., Введенский А.В., Кондрашин В.Ю., Боков Г.А. Анодное растворение и селективная коррозия сплавов / Воронеж: изд-во ВГУ, 1988.
6. Шаталов А.Я., Маршаков И.К. Практикум по физической химии / М.: Высшая школа, 1968 (I издание); 1975 (II издание).
7. Маршаков И.К. Медь и ее сплавы / В кн.: Структура и коррозия металлов и сплавов. – Атлас. Справочник – под ред. Е.А.Ульянина. – М.: Металлургия. 1989.
8. Кравченко Т.А., Николаев Н.И. Кинетика и динамика процессов в редокситах / М.: Химия, 1982.
9. Маршаков И.К. Электрохимическое поведение и характер разрушения твердых растворов и интерметаллических соединений // В кн.: Итоги науки и техники – Сер.: Коррозия и защита от коррозии. – М.: ВИНТИ. 1971.
10. Калужина С.А. Термогальваническая коррозия металлов и сплавов / Воронеж: изд-во ВГУ, 1988.
11. Калужина С.А. Электрохимия и коррозия полупроводников. – Учебное пособие / Воронеж: изд-во ВГУ, 1995.

12. Кравченко Т.А., Шаталов А.Я. Обескислороживание воды ионами / В кн.: Ионообменные методы очистки веществ. Учебное пособие. Под ред. Г.А. Чикинаи О.Н. Мягкого – Воронеж: изд-во ВГУ, 1984.
13. Kravchenko T.A., Aristov I.V. Kinetics and Dynamics of Redox Sorption / In book: Ion exchange. Edit. by D.Muraviev, V.Gorshkov, A.Warshawsky. – N.Y.: M.Dekker, 2.000.

Основные публикации, выпущенные сотрудниками кафедры физической химии

1. Маршаков И.К. Электрохимия интерметаллических фаз // Конденсированные среды и межфазные границы. 1999. Т. 1, №1. С. 5-9.
2. Кондрашин В.Ю., Маршаков И.К. Физико-химическая основа равномерного, псевдоселективного и селективного растворения с фазовым превращением в поверхностном слое гомогенных сплавов // Защита металлов. 2000. Т.36, № 5. С.482-488.
3. Зарцын И.Д., Маршаков И.К., Шугуров А.Е. Кинетика химически сопряженных реакций растворения металлов в присутствии окислителя // Защита металлов. 2000. Т.36, №2. С. 164-169.
4. Зарцын И.Д., Протасова И.В., Шугуров А.Е., Маршаков И.К. Взаимовлияние парциальных электродных реакций и механизм растворения сплавов никеля с цинком // Защита металлов. 1996. Т.32, №5. С. 386-492.
5. Зарцын И.Д., Зотова Е.Е., Протасова И.В., Маршаков И.К. Аномальное растворение никеля при анодном окислении интерметаллидных фаз NiZn и NiZib // Защита металлов. 2000. Т. 36, №2. С. 164-169.
6. Кондрашин В.Ю., Маршаков И.К. Пороговые явления в процессах анодного растворения интерметаллических фаз // Электрохимия. 1997. Т.33, №9. С. 1017-1022.
7. Pchel'nikov A.P., Sitnikov A.D., Marshakov I.K. A study of the kinetics and mechanism of brass dezincification by radiotracer and electrochemical methods // Electrochimica Acta. 1981. V.26, №5. P. 591-600.
8. Polunin A.V., Pchel'nikov A.P., Marshakov I.K., Losev V.V. Electrochemical Studies of the Kinetics and Mechanism of brass Dezincification // Electrochimica Acta. 1982. V.27, №4, P. 467-475.
9. Кондрашин В.Ю., Боков Г.А., Маршаков И.К. Начальное селективное растворение α - и γ -латуней и их склонность к обесцинкованию // Защита металлов. 1994. Т.30, №3. С. 229-233.
10. Зарцын И.Д., Самарцев В.М., Маршаков И.К. Кинетика выделения водорода и изменение анодного потенциала алюминия при активации хлорид-ионами // Защита металлов – 1994, Т. 30, №1. С. 45-47.
11. Vvedenskii A.V., Marshakov I.K. Reorganization of the Surface of the Alloy after Selective Anodic Dissolution // Electrochim. Acta – 1991, V.36, №5-6. P. 905-910.
12. Введенский А.В., Маршаков И.К. Анодное растворение гомогенных спла-

- вов при ограниченной мощности вакансионных стоков // Электрохимия 1994. Т.30, №4. С. 459-472.
13. Введенский А.В., Маршаков И.К. Взаимовлияние компонентов при анодном растворении сплавов серебра на этапе декристаллизации // Электрохимия. 1995. Т.31, №3. С. 257-270.
 14. Введенский А.В., Морозова Н.Б., Щеблыкина Г.Е. Анодное окисление щавелевой кислоты на золоте и палладии // Электрохимия, 1999, Т.35, №3. С. 337-346.
 15. Введенский А.В., Бобринская Е.В. Твердофазная адсорбция компонентов в системе $\text{Ag-Au|F}^-(\text{H}_2\text{O})$ // Электрохимия, 1999, Т.35, №10. С. 1193-1201.
 16. Кравченко Т. А., Шинкевич Л.А. Окислительно-восстановительные процессы в системе твердый редоксит – раствор // Журнал физ. химии. 1986. Т.60, №10, С.2509-2604.
 17. Кравченко Т.А., Соцкая Н.В., Аристов И.В., Березина Н.П. Электропроводность металлсодержащих редокситов // Электрохимия. 1996. Т.32, №2. С. 204-206.
 18. Кравченко Т.А., Шапошник В.А., Малыхин М.Д., Фомин С.В. Внешне-диффузионное торможение восстановительной сорбции окислителей медьсодержащими редокситами // Журнал физ. химии. 1997. Т.71, №5. С. 1453-1487.
 19. Кравченко Т.А., Соцкая Н.В., Слепцова О.В. Кинетика электросорбции кислорода медьсодержащими редокситами с химической и электрохимической регенерацией редокс-центров // Журнал физ. химии. 2000. Т.74, №6. С. 1111-1114.
 20. Кравченко Т.А., Соцкая Н.В., Крысанов В.А. Потенциал металлсодержащего редоксита // Журнал физ. химии. 2001. Т.75, №1. С.153-157.
 21. Калужина С.А., Малыгина А.О., Малыгин В.В. Кинетический расчет распределения тока вдоль неизотермической пластины // Электрохимия. 1995. Т.31, №1. С.76-81.
 22. Калужина С.А., Малыгин В.В., Санина М.Ю. Экспериментальное и теоретическое моделирование термогальванической коррозии теплообменного оборудования // Защита металлов. 1995, Т.31, №2. С.155-160.
 23. Kaluzhina S.A., Kobanenko I.V., Sanina M. Yu., Naficova N.G. The Passivity's Breakdown of Iron and Copper in Bicarbonate Solutions in Tangential and normal Temperature Gradient's Conditions // Proc.Vol. «Passivity and Break-down», PV-97-26 — Electrochem. Soc. Inc. Peimmgton, .No I, USA. 1998. P. 961-972.
 24. Калужина С.А, Санина М.Ю., Малыгина А.О., Малыгин В.В. Термогальванические эффекты при растворении неизотермической железной пластины в кислых средах с различным рН // Электрохимия. 1999. Т-35, №1 С. 51-55.
 25. Kaluzhina S.A, Kobanenko I.V., Malygin V.V., Ryzhkova I.E. Identification of the mechanism for copper local activation in hydrocarbonate solutions on basis of temperature effects / Proceed. Volume № 99-26 «Corrosion and corrosion control water environments» — Electrochem. Soc., Peimington, N.J. (2000) p.266-275.

Признанием успешной работы по подготовке высококвалифицированных специалистов и магистров в области электрохимии, а также кадров высшей квалификации (кандидатов и докторов наук) является избрание профессора И.К. Маршакова действительным членом (академиком) Международной Академии Наук Высшей Школы (1996 г.) и присуждение званий Соросовский доцент С.А. Калужиной (1997 г.), Соросовских профессоров Т.А.Кравченко (1996 г.), И.К.Маршакову (1998 г.), А.В.Введенскому (1998, 1999, 2000 гг.).

Таким образом, на кафедре физической химии в течение последних 40 лет сложилась не только научная школа, успешно работающая в области электрохимии металлов и сплавов, но и высокопрофессиональный коллектив преподавателей, обеспечивающий успешную подготовку квалифицированных кадров. Поэтому коллектив кафедры имеет все права именоваться научно-педагогической школой, ведущей научные исследования в области электрохимии металлов и сплавов и осуществляющей подготовку как дипломированных специалистов, бакалавров и магистров химии, так и кадров высшей квалификации (кандидатов и докторов наук) по специальностям физическая химия и электрохимия.