

## Новое в локальном электрохимическом анализе с прижимной ячейкой-датчиком (обзор)

**Б.М. Стифатов, \*Е.Ю. Мощенская, Ю.В. Рублинецкая**

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»,  
Российская Федерация, 443100, г. Самара, Молодогвардейская ул., 244

\*Адрес для переписки: \*Елена Юрьевна Мощенская, e-mail: [Imos@rambler.ru](mailto:Imos@rambler.ru)

Поступила в редакцию 18 декабря 2023 г., после доработки – 16 февраля 2024 г.

Локальный электрохимический анализ (ЛЭА) с прижимной ячейкой-датчиком (ПЯД) основан на электродекристаллизации исследуемого материала (металла, сплава, порошковой композиции, полупроводниковых структур и др.) на участке, ограниченном размером отверстия графитовой ПЯД, заполненной соответствующим электролитом, и регистрации силы тока растворения. Выделенная поверхность анализируемого материала или изделия является рабочим электродом, а графитовый корпус ячейки или специальный электрод, введенный в инертный корпус ячейки, – противозлектродом. Выбором электролита и режима растворения определяется возможность исследования с помощью ЛЭА с ПЯД толщины слоя, поверхностного состава или распределения состава по толщине слоя материала на контролируемом участке, диаметром 1-2 мм.

Конструкция ПЯД и способы ее применения были разработаны в 60-х годах прошлого века коллективом авторов из Куйбышевского политехнического института (сейчас ФГБОУ ВО «СамГТУ») для кулонометрического контроля монослойных металлических покрытий на корпусах ручных часов, что выдвигало соответствующие требования к размеру корпуса ячейки и её контактного отверстия. Последующие исследования показали возможность контроля с помощью ЛЭА с ПЯД толщины многослойных металлических покрытий индивидуальными металлами различных изделий, состава покрытий бинарными сплавами за счет селективного растворения их компонентов в потенциодинамическом режиме, а также порошков и порошковых композиций, спрессованных в таблеточный электрод, контроля профиля распределения легирующей примеси в кремниевых эпитаксиальных структурах, толщины оксидных пленок, фазового состава образцов металлических сплавов и ряда других параметров применений.

В данной работе представлен обзор достижений в разработке теории, методологии, инструментария и практического применения локального электрохимического анализа за последнее десятилетие.

**Ключевые слова:** локальный электрохимический анализ, контроль коррозии, прижимные ячейки, толщиномеры, фазовые анализаторы.

For citation: *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 2024, vol. 28, no. 1, pp. 7-15

DOI: 10.15826/analitika.2024.28.1.001

## A novelty in local electrochemical analysis with a pressing sensor cell (a review)

**B.M. Stifatov, \*E.Y. Moshchenskaya, Yu.V. Rublinetskaya**

Samara State Technical University  
244 Molodogvardeyskaya Str., Samara, 443100, Russian Federation

\*Corresponding author: [Elena Y. Moshchenskaya](mailto:Elena.Y.Moshchenskaya), E-mail: [Imos@rambler.ru](mailto:Imos@rambler.ru)

Submitted 18 December 2023, received in revised form 16 February 2024

Local electrochemical analysis (LEA) with a pressure cell-sensor (PCS) is based on electrodecrySTALLIZATION of the material studied (metal, alloy, powder composition, semiconductor structures, etc.) in an area limited by the size of the hole in the graphite CSC filled with the appropriate electrolyte, and recording the dissolution current strength. The selected surface of the analyzed material or product is the working electrode, and the graphite body of the cell or a special electrode inserted into the inert body of the cell is the counter electrode.

Choice of the electrolyte and dissolution mode determines the possibility of using LEA with PCS for studying thickness of the layer, surface composition or the distribution of the composition over the thickness of the material layer in the controlled area, with a diameter of 1–2 mm.

Design of the CSC and methods of its application were developed in the 60s of the last century by a team of authors from Kuibyshev Polytechnical Institute (now SamSTU) for coulometric control of monolayer metal coatings on watch cases, which resulted in the corresponding requirements to the size of the cell body and its contact hole. Subsequent studies showed possibility of using LEA with CSC for controlling thickness of multilayer metal coatings with individual metals on various products, composition of binary alloy coatings by selective dissolution of their components in a potentiodynamic mode, as well as powders and powder compositions pressed into a pellet electrode, control of the distribution profile of the alloying impurity in silicon epitaxial structures, thickness of oxide films, phase composition of metal alloy samples and a number of other application parameters.

The present work provides an overview of advances in the development of theory, methodology, tools and practical applications of local electrochemical analysis over the last decade.

**Keywords:** local electrochemical analysis, corrosion control, pressure cells, thickness gauges, phase analyzers.

## ВВЕДЕНИЕ

55 лет исполнилось со времени разработки, использования и первой публикации о результатах применения в локальном электрохимическом анализе (ЛЭА) прижимной ячейки-датчика (ПЯД) [1]. Суть метода заключается в анодном или катодном растворении локального участка поверхности металлического гальванопокрытия, цельнометаллического образца или таблетки, полученной прессованием порошка, с одновременной регистрацией силы тока растворения в потенциодинамическом, потенциостатическом или гальваностатическом режимах. Площадь участка растворения определяется диаметром канала ПЯД (меньше 1 мм<sup>2</sup>), заполненной подобранным электролитом, и плотно прижатой к поверхности контролируемого образца. Регистрируемая сила тока анодного или катодного растворения позволяет кулонометрически измерить толщину гальванопокрытия, а в условиях селективного растворения компонентов покрытия сплавом или литого (спрессованного таблеточного) образца определить его состав по регистрируемым парциальным токам растворения компонентов. Также установлена возможность контроля ЛЭА с ПЯД концентрационного профиля распределения легирующей примеси в кремниевых эпитаксиальных структурах и другие возможные применения метода [2].

Результаты исследований методами ЛЭА с ПЯД различных материалов и тенденции развития метода были ранее представлены в монографии [2] и обзорах [3–5]. Со времени последнего подобного исследования [6–8] прошло более 10 лет. В настоящем обзоре авторы ставили своей целью оценить современное состояние ЛЭА и отразить новое в его теории, практике, методологии и инструментарии.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

### Основные пути развития ЛЭА с ПЯД

Анализ работ, проводимых ЛЭА в последнее десятилетие, показывает, что центрами исследований с помощью ЛЭА по-прежнему являются Самарский

государственный технический университет (СамГТУ), Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Воткинский филиал ИГТУ им. М.Т. Калашникова и Институт прикладной механики УрО РАН (г. Ижевск). Основными направлениями исследований являются:

- совершенствование конструкции прижимной электрохимической ячейки-датчика (ПЯД);
- описание процессов электродекристаллизации различных материалов в условиях ПЯД;
- разработка способов и областей применения ПЯД для контроля различных материалов.

### Совершенствование конструкции ПЯД

Усовершенствованный вариант ПЯД, позволяющий упростить пробоподготовку и сократить время подготовки датчика к повторным измерениям, описан в [9]. Предлагаемую авторами конструкцию ПЯД можно использовать для реализации ЛЭА в ювелирном деле, цветной металлургии, функциональной гальванотехнике.

Несмотря на достаточно малые размеры участка деструкции исследуемых материалов при ЛЭА с ПЯД продолжают исследования вариантов ПЯД с восстановлением разрушенного участка материала после измерений, что позволило бы сделать ЛЭА с ПЯД недеструктивным. Например, в [10] предлагается устройство для интегрального кулонометрического контроля толщины металлических гальванопокрытий с их последующим электрохимическим восстановлением после перфорации в процессе измерения. Для этого в контактном капилляре ПЯД монтируется вспомогательная электрохимическая ячейка с противоэлектродом из электрохимически активного материала, обеспечивающего восстановление поврежденного микроучастка.

Использование ПЯД в качестве основного конструктивного элемента аппаратного оформления различных вариантов ЛЭА позволило проводить исследования на поверхностях малой площади, в том числе изучать процессы локального осаждения гальванопокрытий [11]. Построение моделей электрических полей в электролитах при нанесении

гальванических покрытий на выделенные прижимной электрохимической ячейкой катоды рассмотрено в работе [11], авторы которой основное внимание сосредоточили на оценке влияния характера поверхности электродов и наличия на них анодных солевых пленок на распределение тока и потенциала.

Теоретическое обоснование ряда специфических эффектов ЛЭА с ПЯД (особенности первичного распределения тока вблизи края электрода, характер распределения тока и металла в электролите вблизи предельного режима), проявляющихся при реализации кулонометрического контроля толщины покрытий с восстановлением, дано в [12].

Условия получения медных поверхностных слоев при реализации восстанавливающего кулонометрического контроля ЛЭА с ПЯД металлических покрытий представлены в работе [13], в которой рассмотрено влияние параметров электроосаждения, состава электролитов, температурного режима и характера поверхности подложки на качество осаждаемых покрытий. Полученные результаты могут быть использованы для аналогичного контроля гальванопокрытий и другими металлами.

Влияние геометрии областей локализации при ЛЭА с ПЯД на протекание процессов анодного растворения и катодного осаждения металлических покрытий рассмотрено в [14]. Представленные модели могут быть использованы при выборе параметров аналогичных датчиков ПЯД в других электрохимических системах.

Выбору аппаратного обеспечения ЛЭА с ПЯД посвящена работа [15], в которой указывается, что для поддержания гальваностатического режима можно применить блок стабилизатора тока, реализующий принцип действия электрохимического гальваностата, использующего схему стабилизации тока на одном операционном усилителе.

В [16] ряд причин, приводящих к нарушению постоянства диаметра канала растворения при электрохимическом контроле толщины металлических гальванопокрытий в условиях ЛЭА с ПЯД. Анодное растворение металлопокрытий в ПЯД при электрохимическом контроле их параметров сопровождается образованием солевой пленки на поверхности электрода. Поэтому неустойчивость свойств прианодной части раствора электролита, включая изменение свойств солевого слоя, и концентрационные изменения у стенок канала могут привести к эффектам сужения или расширения канала.

Возможность приближенной оценки активного сопротивления ПЯД с учетом ее геометрических параметров, некоторые вопросы теории моделирования прижимных электрохимических датчиков рассмотрены в [17]. Также проведен анализ основных расчетных соотношений, связывающих активное сопротивление электролита с геометрическими параметрами датчика, и дано сравнение полученных результатов с имеющимися в литературе данными.

## Методики и объекты исследования в условиях ЛЭА с ПЯД

Метод ЛЭА с ПЯД измерения толщины однослойных и многослойных металлических покрытий в технологическом процессе с помощью электронного кулонометрического толщиномера применяется для контроля толщины этих покрытий. Функциональная схема устройства, реализующего метод, варианты внедрения устройства в технологический процесс изготовления тонкопленочных микрополосковых плат, результаты экспериментальной оценки достоверности способа измерения толщины металлических покрытий методом ЛЭА, представлены в [18].

Способ оперативной регистрации ЛЭА с ПЯД сквозных пор в металлопокрытиях на основе метода интегрального электрохимического контроля (ИЭК) предложен в [19]. Приведенный способ позволяет значительно повысить производительность и информативность существующих подходов, расширить их функциональные возможности. Приведена схема устройства для регистрации сквозных пор в гальванопокрытиях.

В задачи работы [20] входило изучение ЛЭА с ПЯД структуры оксидных пленок, сформированных на внутренней поверхности нагрева в теплопроводных системах. В результате было показано, что диагностику защитной способности пассивирующих пленок необходимо проводить по результатам ЛЭА в системном сочетании с вольтамперометрической оценкой доли свободной поверхности (ДСП), импедансной спектроскопией, рентгенофазовым анализом.

Исследование методики прогнозирования скорости пароводяной коррозии и прочности оксидных пленок поверхностей нагрева проведено в [21] сочетанием методов ультразвукового контроля (УЗК) и ЛЭА с ПЯД. Показано, что ЛЭА с ПЯД как дополнение к результатам УЗК дает возможность выдвинуть предположения о причинах изменения защитных свойств пленок.

Установление связи между окраской покрытия, получаемого из щелочных медьсодержащих растворов, и их количественным и качественным фазовым составом проводили в [22], используя ЛЭА с ПЯД в гальваноимпульсном режиме для катодного восстановления оксидных фаз покрытий. Анодом являлась медь, катодом служила покрываемая стальная деталь. В полученных импульсных хронопотенциограммах рассматривали значения потенциала в момент паузы и сопоставляли эти значения со стандартными редокс-потенциалами пар оксидов и гидроксидов меди, что позволило установить фазовый состав получаемых покрытий.

Разработка методики ЛЭА с ПЯД руд, содержащих серебро в металлической форме, рассмотрена в [23-25]. Исследования показали невозможность определения серебра непосредственно на образце. Это связано с наличием в них веществ в окисленной форме, способных к восстановлению, что приводит

к появлению ложных пиков на вольткулонограмме. Исключить влияние побочных процессов на анализируемом рабочем электроде позволяет прием его замены, который заключается в переносе датчика на индифферентный рабочий электрод. Замена рабочего электрода, которым является серебро в анализируемом образце руды, на индифферентный из стеклоглуглерода позволила исключить влияние веществ, способных к восстановлению, что определило возможность количественной оценки содержания серебра в руде при помощи калибровочного графика.

В [25] сообщается о применении аналогичной методики к определению палладия в руде с помощью подобранного электролита.

Сравнение электролитов для анализа палладия методами ЛЭА с ПЯД проведено в работе [26], в которой исследовано электрохимическое поведение палладия в трех видах созданных авторами водного, безводного протонного и апротонного электролитов. Обнаружена склонность палладия к пассивации при анодном растворении в электролитах на основе протонных растворителей. Установлено, что образование растворимого комплекса палладия с ацетонитрилом значительно улучшает анодный выход по току и снижает склонность к пассивации.

В статье [27] рассматриваются возможности ЛЭА с ПЯД в исследовании гальванической коррозии насосно-компрессорных труб. Теоретические основы и экспериментальная методика ЛЭА поверхности твердофазных материалов с использованием специально разработанной ПЯД позволяют определить характер коррозионного поведения.

### Гибридные методы ЛЭА с ПЯД

В [28] показана возможность использования гибридного метода ЛЭА с ПЯД, сочетающего циклическую локальную вольтамперометрию и абразивную вольтамперометрию, для исследования кинетики роста оксидных слоев, определения их толщины, фазового состава и удельного сопротивления при исследовании анодных свойств и прогнозировании коррозионного поведения металлов. Анализ одной поляризационной кривой позволяет отслеживать процесс образования оксидной пленки на поверхности металла (анодная часть) и оценивать ее фазовый состав и удельное сопротивление (катодная часть).

Способ циклической локальной вольтамперометрии (ЦЛВА) на основе ЛЭА с ПЯД предложен в [29] для контроля фазового состава и толщины оксидных слоев, образующихся на поверхности цинка и его сплавов в щелочной среде. Полученные аналитические выражения для зависимостей  $h = f(t)$  корректно описывают кинетику роста оксидных слоев. Указывается также на возможный способ расчета удельного сопротивления оксидной пленки на металле путем соответствующей обработки катодной кривой восстановления цинка в ЛЭА.

### Моделирование диаграмм «состав-свойство»

Серия работ [30-54] сотрудников СамГТУ продолжила исследования методом ЛЭА с ПЯД анодного поведения бинарных сплавов различной структуры, построению диаграмм «состав сплава – ток растворения», а также математическому моделированию кривых на этих диаграммах и сопоставлению этих диаграмм с диаграммами состояния соответствующих сплавов.

Безэталонный способ ЛЭА с ПЯД гетерогенных сплавов, проверенный на примере эвтектических и перитектических металлических систем, сплавов с интерметаллическими и промежуточными фазами был предложен в [30]. Возможность ЛЭА без использования образцов сравнения в случае гетерогенных систем сплавов с ограниченными твердыми растворами и промежуточными фазами была подтверждена на примере термических сплавов Sn-Sb в широком диапазоне составов с использованием простой и экспрессной методики [31]. Закономерности процесса анодного растворения перитектической системы сплавов Sn-Sb установлены в [32], что позволило получить аналитические выражения для зависимости парциальных токов растворения сосуществующих фаз от состава сплава. Особенности безэталонного способа ЛЭА термических сплавов Cd-Pb были изучены в [33]. Кулонометрический вариант локальной вольтамперометрии термических сплавов Pb-Sb был рассмотрен в [34], когда проведенные исследования позволили получить уравнение градуировочной кривой зависимости количества электричества от состава сплава, которое использовано для разработки безэталонного способа анализа гетерогенных сплавов Pb-Sb. На примере гетерогенных сплавов Zn-Cd и Pb-Sb представлена перспектива использования локальной хронопотенциометрии в исследовании анодных и коррозионных свойств гетерогенных сплавов [35].

Безэталонный способ ЛЭА с ПЯД гомогенных сплавов был рассмотрен на примере неограниченных твердых растворов (Au - Ag, Cu - Ni), ограниченных твердых растворов и промежуточных фаз с широкой областью гомогенности (In - Pb) [36]. Полученные поляризационные кривые этих сплавов и чистых компонентов, или фаз на границе с областью гомогенности, позволяют установить состав гомогенного сплава, не используя градуировочный график.

Возможность изучения электронной структуры сплавов Cu-Ni с помощью ЛЭА с ПЯД показана в [37]. Кулонометрический вариант ЛЭА с ПЯД сплавов Zn-Cd был представлен в [38].

Созданию теоретических основ ЛЭА с ПЯД оксидных слоев, образующихся на металлических поверхностях в процессе анодной поляризации олова, свинца и их сплавов были посвящены исследования, описанные в [39].

Представленное в [2] подобие диаграмм состояния «состав – температура», полученным ЛЭА с ПЯД диаграммам «состав – парциальный ток» для бинарных сплавов различного строения, показало возможность использования последних для исследования фазового состава сплавов, установления границ фазовых переходов, координат точки эвтектики, путем контроля потенциалов и парциальных токов растворения образцов с различным содержанием их компонентов. Это придало бы ЛЭА с ПЯД свойство научного прогноза и утвердило метод, как один из возможных методов фазового анализа металлических систем.

Для более точного прогнозирования поведения сплавов при различных условиях и оптимизации их свойств использовались методы математического моделирования диаграмм «состав – ток растворения» и диаграмм «состав – температура кристаллизации» сплавов, что отражено в совокупности работ [40-54]. В частности, были использованы различные методы для достижения наиболее точного математического описания кривых на диаграммах состояния сплавов [40-44] и градуировочных графиков на диаграммах «состав – ток» [45-48], а также сопоставления этих диаграмм [50-54].

Совпадение модельных и экспериментально полученных кривых достигалось введением в расчетные формулы для температур кристаллизации и парциальных токов растворения компонентов сплава так называемых коэффициентов активности, отражающих активность кристаллизации и анодного растворения, а также коэффициентов, найденных методом математического моделирования. Коэффициент активности в формулах для расчета температур кристаллизации компонентов сплава [45] учитывает температуру ликвидуса, температуру плавления чистого компонента, температуру эвтектики, содержание компонентов в сплаве (% мол.), состав эвтектики (% мол.), распределение твердой фазы *i*-го компонента в жидкой фазе в процессе кристаллизации сплава, а также эмпирические постоянные, вычисленные методом математического моделирования [49]. Для расчета коэффициентов активности растворяющейся фазы эвтектического сплава в условиях локальной вольтамперометрии [46-48] используют содержание компонента в сплаве (% масс.), молярную долю компонента в сплаве, максимальный ток растворения чистого компонента, а также эмпирические постоянные, вычисленные методом математического моделирования [49]. На примере эвтектических сплавов Cd–Bi, Sn–Bi, Zn – Sn, Al–Si установлено хорошее соответствие расчетных данных экспериментальным [50-54].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ работ в области ЛЭА с ПЯД за последние 10 лет показывает сохранение интереса как к отдельным составляющим метода (конструкция прижимной электрохимической ячей-

ки-датчика (ПЭХЯД), режимы, методики проведения и теоретическое обоснование методов ЛЭА), так и применению метода для контроля различных материалов. В последние годы акцент в исследованиях методами ЛЭА с ПЯД практически полностью сместился от кулонометрических измерений толщины покрытий в область теоретического описания процессов, происходящих в ПЯД, а также физико-химических исследований металлов и сплавов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмина Н.Н., Рунтов В.И., Сонгина О.А. Анодно-полярографический метод определения толщины и состава биметаллического покрытия // Завод. лаб.. 1969. Т. 35, №9. С. 274-276.
2. Слепушкин В.В., Рублинецкая Ю.В. Локальный электрохимический анализ. М.: Физико-математическая литература, 2010. 312 с.
3. Слепушкин В.В. Электрохимический анализ с прижимными ячейками // Ж. аналит. химии. 1987. Т. 42, № 4. С. 606-616.
4. Слепушкин В.В., Стифатов Б.М., Нейман Е.Я. Локальный электрохимический анализ // Ж. аналит. химии. 1994. Т. 49, № 9. С. 911-919.
5. Слепушкин В.В., Рублинецкая Ю.В., Стифатов Б.М. Локальный электрохимический анализ поверхности // Ж. аналит. химии. 2005. Т. 60, № 2. С. 120-123.
6. Слепушкин В.В., Стифатов Б.М., Рублинецкая Ю.В., Ильиных Е.О. Приборы для локального электрохимического анализа (обзор) // Завод. лаб. Диагностика материалов. 2010. Т. 76, № 6. С. 3-8.
7. Slepushkin V.V., Stifatov B.M., Rublinskaya Y.V., Il'nykh E.O. Devices For Local Electrochemical Analysis (Review) // J. Inorg. Mater.. 2011. V. 47, № 14. P. 1551-1556.
8. Слепушкин В.В., Стифатов Б.М., Рублинецкая Ю.В. Прижимные ячейки и методы локального электрохимического анализа (обзор) // Завод. лаб. Диагностика материалов. 2010. Т. 76, № 7. С. 3-9.
9. Пат. на полезную модель 74713 РФ, МПК G01N 27/00. Электрохимический датчик для устройства локального электрохимического экспресс-анализа / Липкин С.М. [и др.] (РФ). № 2008104530/22; заявл. 06.02.2008; опубл. 10.07.2008.
10. Пат. №2357237 РФ МПК7 G01N 27/12. Устройство для интегрального контроля толщины металлических гальванопокрытий с последующим электрохимическим восстановлением / Черепанов И.С., Тарасов В.В., Трубачев А.В. (РФ). № 15, опубл. 27.05.2009.
11. Черепанов И.С., Тарасов В.В., Трубачев А.В. Об особенностях моделирования электрических полей в электролитах для решения задач нанесения гальванопокрытий на микрокатоды в прижимных ячейках // Химическая физика и мезоскопия. 2010. Т. 12, № 3. С. 395-399.
12. Черепанов И.С., Тарасов В.В., Трубачев А.В. Выбор модели для описания распределения металла по поверхности катодов малых размеров при электроосаждении гальванопокрытий в прижимных электрохимических ячейках // Химическая физика и мезоскопия. 2010. Т. 12, № 4. С. 543-547.
13. Влияние внешних факторов на электрокристаллизацию медных покрытий в условиях восстанавливающего кулонометрического контроля поверхности / И.С. Черепанов [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. 2008. Т. 10, № 1. С. 91-95.

14. Черепанов И.С., Тарасов В.В. Геометрия области локализации электродного процесса в системах локального электрохимического анализа // Химическая физика и мезоскопия. 2012. Т. 14, № 3. С. 436-439.
15. Евстигнеева Т.А. Выбор аппаратного обеспечения локального электрохимического анализа // Инновационные процессы в научной среде: сб. статей: международная научно-практическая конф. Пермь, 2017. С. 99-102.
16. Черепанов И.С., Тарасов В.В., Трубочев А.В. К вопросу о постоянстве диаметра канала растворения при электродекристаллизации металлических гальванопокрытий в прижимных ячейках // Химическая физика и мезоскопия. 2010. Т. 12, № 2. С. 248-254.
17. Черепанов И.С., Тарасов В.В., Трубочев А.В. О возможности теоретической оценки активного сопротивления электролита прижимных ячеек // Химическая физика и мезоскопия. 2011. Т. 13, № 1. С. 95-98.
18. Устройство измерения толщины металлических слоев в процессе изготовления тонкопленочных микроплат / Ю.В. Мощенский [и др.] // Промышленные АСУ и контроллеры. 2012. № 7. С. 67-70.
19. Черепанов И.С., Тарасов В.В. Электрохимический способ регистрации сквозных пор в металлических гальванопокрытиях // Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова. 2012. № 3. С. 18-21.
20. Исследования продуктов коррозии низкоуглеродистых сталей электрохимическими методами / Т.В. Козлова [и др.] // Труды Академэнерго. 2017. № 3. С. 108-125.
21. Диагностика защитных свойств оксидных пленок на внутренних поверхностях паропроводных труб на основе электрохимических методов исследования / Т.В. Липкина [и др.] // Контроль. Диагностика. 2015. № 12. С. 34-40.
22. Нанесение окрашенных декоративных покрытий на поверхность конструкционных сталей / С.М. Липкин [и др.] // Вестник Донского гос. техн. ун-та. 2017. Т. 17, № 4(91). С. 83-88.
23. Определение серебра в минералах методами локального электрохимического анализа с заменой рабочего электрода / М.С. Липкин [и др.] // Изв. Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2021. № 1 (209). С. 63-68.
24. Сманова З.А., Тухтамуродова М.Б. Определение серебра в горных породах золотосеребряного месторождения «высоковольтное» локальным электрохимическим анализом // Интернаука. 2022. № 12-4 (235). С. 25-27.
25. Липлявва М.В. Перспективы развития методов локального электрохимического анализа // Студенческая научная весна – 2021: материалы региональной научн.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Ростовской области. Новочеркасск, 2021. С. 153.
26. Сравнение электролитов для анализа палладия методами локального электрохимического анализа с заменой рабочего электрода / М.С. Липкин [и др.] // Актуальные вопросы современной науки и практики: сб. науч. статей: VII Международная научно-практическая конференция. Уфа, 2022. С. 6-14.
27. Рублинецкая Ю.В., Расщепкина Г.А., Гукин А.Е. Возможности локального электрохимического анализа в исследовании гальванической коррозии насосно-компрессорных труб // Современные научные гипотезы и прогнозы: от теории к практике: сб. науч. тр.: международная научно-практическая конференция. Санкт-Петербург, 2021. С. 135-138.
28. Gukin A.E., Rublinskaya Y.V., Rasshchepkina N.A., Slepshkin V.V. Study of oxide layers on metals and alloys by cyclic local voltammetry // E3S Web of Conferences. International Conference "Corrosion in the Oil and Gas Industry". [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/201912101005> (дата обращения: 14.10.2019)
29. Контроль оксидных слоев на цинке и его сплавах методом циклической локальной вольтамперометрии. / Ю.В. Рублинецкая [и др.] // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докл. Санкт-Петербург, 2019. С. 209.
30. Рублинецкая Ю.В., Ильиных Е.О., Слепушкин В.В. Безэталонный способ локального электрохимического анализа гетерогенных сплавов // Ж. аналит. химии. 2009. Т. 64, № 5. С. 525-528.
31. Локальный электрохимический анализ термических сплавов олово - сурьма / Ю.В. Рублинецкая [и др.] // Завод. лаб. Диагностика материалов. 2010. Т. 76, № 8. С. 7-9.
32. Рублинецкая Ю.В., Слепушкин В.В., Ильиных Е.О. Особенности анодного поведения перитектической системы сплавов олово-сурьма в условиях локального электрохимического анализа // Изв. Вузов. Серия: Химия и хим. технология. 2010. Т. 53, № 5. С. 64-66.
33. Ильиных Е.О., Рублинецкая Ю.В., Гаркушин И.К. Особенности локальной вольтамперометрии сплавов кадмий - свинец // Изв. Вузов. Серия: Химия и хим. технология. 2010. Т. 53, № 2. С. 113.
34. Кулонометрический вариант локальной вольтамперометрии сплавов свинец-сурьма / О.А. Мажаева [и др.] // Изв. Вузов. Серия: Химия и химическая технология. 2013. Т. 56, № 11. С. 41-44.
35. Мажаева О.А., Рублинецкая Ю.В., Слепушкин В.В. Локальная хронопотенциометрия гетерогенных сплавов // Ж. прикл. химии. 2013. Т. 86, № 7. С. 1074-1077.
36. Рублинецкая Ю.В., Ильиных Е.О., Слепушкин В.В. Безэталонный способ локального электрохимического анализа гомогенных сплавов // Ж. аналит. химии. 2011. Т. 66, № 1. С. 88-91.
37. Рублинецкая Ю.В., Слепушкин В.В., Ильиных Е.О. Об электронной структуре сплавов медь - никель // Изв. Вузов. Серия: Химия и хим. технология. 2010. Т. 53, № 3. С. 155-156.
38. Рублинецкая Ю.В., Мажаева О.А., Слепушкин В.В. Кулонометрический вариант локальной вольтамперометрии сплавов // Изв. Вузов. Серия: Химия и химическая технология. 2012. Т. 55, № 9. С. 20-22.
39. Исследование кинетики образования и растворения оксидных слоев на олове, свинце и их сплавах в процессе их поляризации в щелочных растворах методом локального электрохимического анализа / Ю.В. Рублинецкая [и др.] // Изв. Вузов. Серия: Химия и химическая технология. 2014. Т. 57, № 3. С. 29-34.
40. Мощенская Е.Ю., Слепушкин В.В. Способ построения кривых ликвидуса двойных эвтектических систем // Ж. неорг. химии. 2015. Т. 60, № 1. С. 1-7.
41. Способ моделирования диаграмм состояния двухкомпонентных эвтектических систем сплавов. / Е.Ю. Мощенская [и др.] // Изв. Вузов. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58, № 3. С. 38-42.
42. Мощенская Е.Ю., Слепушкин В.В. Построение ретроградных кривых ликвидуса двойных эвтектических систем // Ж. неорг. хим. 2016. Т. 61, № 3. С. 1-5.
43. Активность и коэффициенты активности растворяющейся фазы гетерогенного сплава в условиях локальной вольтамперометрии / В.В. Слепушкин [и др.] // Изв. Вузов. Серия: Химия и химическая технология. 2016. Т. 59, № 2. С. 22 - 25.
44. Мощенская Е.Ю., Стифатов Б.М. Исследование возможности применения методов теоретического модели-

рования для определения эвтектического состава бинарных сплавов // Вестник Тверского гос. ун-та. Серия: Химия. 2021. № 3 (45). С. 105-122.

45. Рублинецкая Ю.В., Мощенская Е.Ю., Ростова М.Ю. Способ расчета коэффициента активности и активности компонентов эвтектических сплавов // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2019. С. 310.
46. Ростова М.Ю., Мощенская Е.Ю., Рублинецкая Ю.В. Расчет коэффициента активности и активности растворяющейся фазы эвтектических сплавов / XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2019. С. 376.
47. Активность и коэффициенты активности растворяющейся фазы гетерогенного сплава в условиях локальной вольтамперометрии / В.В. Слепушкин [и др.] // Изв. Вузов. Серия: Химия и химическая технология. 2016. Т. 59, № 2. С. 22-25.
48. Уравнение градуировочной кривой в локальной вольтамперометрии эвтектических сплавов с аномальной и разъединенной эвтектикой / Б.И. Кашкаров [и др.] // Ж. аналит. химии. 2017. Т. 72, № 1. С. 89-90.
49. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU Прикладная программа расчета парциальных токов растворения и параметров распределения фазовых диаграмм «состав-ток» двухкомпонентных эвтектических систем сплавов в локальном электрохимическом анализе / Мощенская Е.Ю., Слепушкин В.В. (РФ) 2016610149 11.01.2016. Заявка № 2015660561 от 05.11.2015.
50. Уравнение градуировочной кривой в локальной вольтамперометрии гетерогенных сплавов / Е.Ю. Мощенская [и др.] // Ж. аналит. химии. 2017. Т. 72, № 2. С. 167-169.
51. Ростова М.Ю., Рублинецкая Ю.В., Расщепкина Н.А., Мощенская Е.Ю. Уравнение градуировочной кривой в локальной хронопотенциометрии эвтектических сплавов // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2019. С. 375.
52. Мощенская Е.Ю., Ростова М.Ю., Рублинецкая Ю.В. Моделирование диаграмм «состав-температура» и «состав-ток» для системы «алюминий-кремний» // IV Всероссийской конф. «Химия и химическая технология: достижения и перспективы»: тез. докл. Кемерово: КузГТУ, 2018. С. 130.1-130.5.
53. Мощенская Е.Ю., Стифатов Б.М. Моделирование диаграмм «состав-температура» и «состав-активность, коэффициент активности» для системы «алюминий-кремний» // Математическое моделирование в естественных науках. 2021. Т. 1. С. 12-14.
54. Мощенская Е.Ю., Стифатов Б.М. Моделирование диаграмм «состав-свойство» для диаграмм «алюминий-кремний» // Ж. Сиб. фед. ун-та. Серия: Химия. 2023. Т. 16, № 1. С. 107-115.

## REFERENCES

1. Kuz'mina N.N., Runtov V.I., Songina O.A. [Anodic-polarographic method for determining the thickness and composition of a bimetallic coating] *Zavodskaja laboratorija* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 1969, vol. 35, no. 9, pp. 274-276 (in Russian).
2. Slepushman V.V., Rublinetskaya Y.V. *Lokal'nyj jelektrohimicheskiy analiz* [Local electrochemical analysis]. M.: Physical and Mathematical Literature, 2010. 312 p. (in Russian).
3. Slepushman V.V. [Electrochemical analysis with clamping cells] *Zh. Anal. Him. [J. Anal. Chem.]*, 1987, vol. 42, no. 4, pp. 606-616 (in Russian).

4. Slepushman V.V., Stifatov B.M., Nejman E.Ja. [Local electrochemical analysis] *Zh. Anal. Him. [J. Anal. Chem.]*, 1994, vol. 49, no. 9, pp. 911-919 (in Russian).
5. Slepushman V.V., Rublinetskaya Y.V., Stifatov B.M. [Local electrochemical surface analysis]. *Zh. Anal. Him. [J. Anal. Chem.]*, 2005, vol. 60, no. 2, pp. 120-123 (in Russian).
6. Slepushman V.V., Stifatov B.M., Rublinetskaya Y.V., Il'inykh E.O. [Devices for local electrochemical analysis (review)]. *Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials], 2010, vol. 76, no. 6, pp. 3-8 (in Russian).
7. Slepushman V.V., Stifatov B.M., Rublinetskaya Y.V., Il'inykh E.O. Devices for Local Electrochemical Analysis (Review). *J. Inorg. Mater.*, 2011. vol. 47. no. 14. pp. 1551-1556 doi: 10.1134/S0020168511140214
8. Slepushman V.V., Stifatov B.M., Rublinetskaya Y.V. [Pressure cells and methods of local electrochemical analysis (review)]. *Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov* [Industrial laboratory. Diagnostics of materials]. 2010. vol. 76. no. 7. pp. 3-9 (in Russian).
9. Lipkin S.M., Lipkina T.V., Shishka V.G., Pozhidaeva S.A., Bolovinov E.V. *Jelektrohimicheskiy datchik dlja ustrojstva lokal'nogo jelektrohimicheskogo jekspress-analiza* [Electrochemical sensor for local electrochemical express analysis device]. Patent RF no. 74713. IPC G01N 27/00. Application no 2008104530/22; 06.02.2008; publ. 10.07.2008 (in Russian).
10. Cherepanov I.S., Tarasov V.V., Trubachev A.V. *Ustrojstvo dlja integral'nogo kontrolja tolshhiny metallicheskih gal'vanopokrytij s posledujushhim jelektrohimicheskim vostanovleniem* [A device for integral control of the thickness of metal electroplating with subsequent electrochemical restoration]. Patent RF №2357237 IPC 7 G01N 27/12 № 15, publ. 27.05.2009 (in Russian).
11. Cherepanov I.S., Tarasov V.V., Trubachev A.V. [On the features of modeling electric fields in electrolytes to solve problems of electroplating on microcathodes in clamping cells]. *Himicheskaja Fizika I Mezoskopija* [Chemical physics and mesoscopy], 2010, vol. 12, no. 3, pp. 395-399 (in Russian).
12. Cherepanov I.S., Tarasov V.V., Trubachev A.V. [Selection of a model to describe the distribution of metal over the surface of small cathodes during electrodeposition of electroplating in pressure electrochemical cells]. *Himicheskaja Fizika I Mezoskopija* [Chemical physics and mesoscopy], 2010, vol. 12, no. 4, pp. 543-547 (in Russian).
13. Cherepanov I.S., Tarasov V.V., Trubachev A.V., Churkin A.V. [The influence of external factors on the electrocrystallization of copper coatings under conditions of restorative coulometric surface control]. *Himicheskaja Fizika I Mezoskopija* [Chemical physics and mesoscopy], 2008, vol. 10, no. 1, pp. 91-95 (in Russian).
14. Cherepanov I.S., Tarasov V.V. [Geometry of the region of localization of the electrode process in systems of local electrochemical analysis]. *Himicheskaja Fizika I Mezoskopija* [Chemical physics and mesoscopy], 2012, vol. 14, no. 3, pp. 436-439 (in Russian).
15. Evstigneeva T.A. [Selecting hardware for local electrochemical analysis]. *Innovatsionnye protsessy v nauchnoi srede: sb. statei: mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konf. [Innovative processes in the scientific environment: collection. articles: international scientific and practical conference]*. Permian, 2017, pp. 99-102 (in Russian).
16. Cherepanov I.S., Tarasov V.V., Trubachev A.V. [On the issue of the constancy of the diameter of the dissolution channel during the electrocrystallization of metal electroplating in clamping cells]. *Himicheskaja Fizika I Mezoskopija*

[*Chemical physics and mesoscopy*], 2010, vol. 12, no. 2, pp. 248-254 (in Russian).

17. Cherepanov I.S., Tarasov V.V., Trubachev A.V. [On the possibility of theoretical assessment of the active resistance of the electrolyte of clamping cells]. *Himicheskaja Fizika I Mezoskopija [Chemical physics and mesoscopy]*, 2011, vol. 13, no. 1, pp. 95-98 (in Russian).
18. Moshchenskiy Yu.V., Moshchenskaya E.Y., Grohovskoj A.V., Zotov E.V., Fedotov S.V. [Device for measuring the thickness of metal layers in the manufacturing process of thin-film microstrip circuit boards]. *Promyshlennye ASU i kontrolyery [Industrial ACS and controllers]*, 2012, no. 7, pp. 67-70 (in Russian).
19. Cherepanov I.S., Tarasov V.V. [Electrochemical method for recording through pores in metal electroplatings]. *Vestnik IZhGTU im. M.T. Kalashnikova [Bulletin of IZhSTU im. M.T. Kalashnikov]*, 2012, no. 3, pp.18-21 (in Russian).
20. Kozlova T.V., Lipkin S.M., Lipkin M.S., Lipkina T.V., Lipkin V.M., Postnikov A.A., Kagan E.Sh., Fesenko L.N. [Research of corrosion products of low-carbon steels using electrochemical methods]. *Trudy Akademjenergo [Proceedings of Academenergo]*, 2017, no. 3, pp. 108-125 (in Russian).
21. Lipkina T. V., Lipkin S. M., Kozlova T.V., Volkov V.N., Suslov V.V., Derevjanchuk A.G. [Diagnostics of the protective properties of oxide films on the internal surfaces of steam pipes based on electrochemical research methods]. *Kontrol'. Diagnostika [Control. Diagnostics]*, 2015, no. 12, pp. 34-40. doi: 10.14489/td.2015.12.pp.034-040 (in Russian).
22. Lipkin S. M., Kucherenko S.V., Zhukova I.Ju., Kolchina S.V. [Application of colored decorative coatings to the surface of structural steels]. *Vestnik Donskogo gos. tehn. un-ta [Bulletin of the Don State. Tech. University]*, 2017, vol. 17, no. 4(91), pp. 83-88. doi: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-83-88 (in Russian).
23. Lipkin M.S., Lipjavka M.V., Bogush I.A., Burcev A.A., Velichko A.V., Lukovkin M.V. [Determination of silver in minerals using local electrochemical analysis methods with replacement of the working electrode]. *Izv. Vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki [Proceedings of Universities. North Caucasus region. Technical Sciences]*, 2021, no. 1 (209), pp. 63-68. doi: 10.17213/1560-3644-2021-1-63-68 (in Russian).
24. Smanova Z.A., Tuhtamurodova M.B. [Determination of silver in rocks of the "high-voltage" gold-silver deposit by local electrochemical analysis]. *Internauka [Interscience]*, 2022, no. 12-4 (235), pp. 25-27 (in Russian).
25. Lipjavka M.V. [Prospects for the development of methods of local electrochemical analysis]. *Studencheskaia nauchnaia vesna – 2021: materialy regional'noi nauchn. -tehnich. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh vuzov Rostovskoi oblasti [Student scientific spring - 2021: materials of the regional scientific and technical. conf. students, graduate students and young scientists of universities in the Rostov region]*. Novocherkassk, 2021, p. 153 (in Russian).
26. Lipkin M.S., Lipjavka M.V., Voloshin V.A., Moskalev Ju.G. [Comparison of electrolytes for palladium analysis using local electrochemical analysis methods with replacement of the working electrode]. *Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki i praktiki: sb. nauch. ctatei: VII Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konferentsiia [Current issues of modern science and practice: coll. scientific articles: VII International Scientific and Practical Conference]*. Ufa, 2022, pp. 6-14 (in Russian).
27. Rublinetskaya Y.V., Rasshchepkina N.A., Gukin A.E. [Possibilities of local electrochemical analysis in the study of galvanic corrosion of pump and compressor pipes]. *Sovremennye nauchnye gipotezy i prognozy: ot teorii k praktike: sb.*

*nauch. tr.: mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konferentsiia [Modern scientific hypotheses and forecasts: from theory to practice: collection. scientific tr.: international scientific and practical conference]*. Saint Petersburg, 2021, pp. 135-138 (in Russian).

28. Gukin A.E., Rublinetskaya Y.V., Rasshchepkina N.A., Slepushkin V.V. Study of oxide layers on metals and alloys by cyclic local voltammetry. *E3S Web of Conferences. I International Conference "Corrosion in the Oil and Gas Industry"*. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912101005> (Accessed 14.10.2019).
29. Rublinetskaya Y.V., Gukin A.E., Rasshchepkina N.A., Il'inykh E.O. [Monitoring of oxide layers on zinc and its alloys using cyclic local voltammetry]. *XXI Mendeleevskii s'ezd po obshchei i prikladnoi khimii: tezisy dokl. [XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry: abstracts of reports]*. Saint Petersburg, 2019, p. 209 (in Russian).
30. Rublinetskaya Y.V., Il'inykh E.O., Slepushkin V.V. [A Standard-Free Method For The Local Electrochemical Analysis Of Heterogeneous Alloys]. *Zh. analit. khimii. [J. Anal. Chem.]*, 2009. vol. 64. no. 5. pp. 525-528 (in Russian).
31. Rublinetskaya Y.V., Il'inykh E.O., Slepushkin V.V., Kovriga Ju.P. [Local electrochemical analysis of thermal alloys tin – antimony]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov [Industrial laboratory. Diagnostics of materials]*, 2010, vol. 76, no. 8, pp. 7-9 (in Russian).
32. Rublinetskaya Y.V., Slepushkin V.V., Il'inykh E.O. [Features of the anodic behavior of the peritectic system of tin-antimony alloys under conditions of local electrochemical analysis]. *Izv. Vuzov. Serija: Himija i him. tehnologija [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and chemical technology]*, 2010, vol. 53, no. 5, pp. 64-66 (in Russian).
33. Il'inykh E.O., Rublinetskaya Y.V., Garkushin I.K. [Features of local voltammetry of cadmium - lead alloys]. *Izv. Vuzov. Serija: Himija i him. tehnologija [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and chemical technology]*, 2010, vol. 53, no. 2, p. 113 (in Russian).
34. Mazhaeva O.A., Rublinetskaya Y.V., Slepushkin V.V., Kovriga Y.P. [Coulometric version of local voltammetry of lead-antimony alloys]. *Izv. Vuzov. Serija: Himija i him. tehnologija [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and chemical technology]*, 2013, vol. 56, no. 11, pp. 41-44 (in Russian).
35. Mazhaeva O.A., Rublinetskaya Y.V., Slepushkin V.V. [Local Chronopotentiometry Of Heterogeneous Alloys]. *Zh. prikl. khimii. [J. App. Chem.]*, 2013. vol. 86. no. 7. pp. 1074-1077. (in Russian).
36. Rublinetskaya Y.V., Il'inykh E.O., Slepushkin V.V. A Standardless [Method for The Local Electrochemical Analysis Of Homogeneous Alloys]. *Zh. analit. khimii [J. Anal. Chem.]*, 2011. vol. 66. no. 1. pp. 88-91 (in Russian).
37. Rublinetskaya Y.V., Slepushkin V.V., Il'inykh E.O. [About the electronic structure of copper - nickel alloys]. *Izv. Vuzov. Serija: Himija i him. tehnologija [News of Universities. Series: Chemistry and chemical technology]*, 2010, vol. 53, no. 3, pp. 155-156 (in Russian).
38. Rublinetskaya Y.V., Mazhaeva O.A., Slepushkin V.V. [Coulometric variant of local voltammetry of alloys]. *Izv. Vuzov. Serija: Himija i him. tehnologija [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and chemical technology]*, 2012, vol. 55, no. 9, pp. 20-22 (in Russian).
39. Rublinetskaya Y.V., Gukin A.E., Slepushkin V.V., Il'inykh E.O. [Study of the kinetics of formation and dissolution of oxide layers on tin, lead and their alloys during their polarization in alkaline solutions using local electrochemical analysis]. *Izv. Vuzov. Serija: Himija i him. tehnologija [Proceedings of Uni-*

- versities. Series: Chemistry and chemical technology], 2014, vol. 57, no. 3, pp. 29-34 (in Russian).
40. Moshchenskaya E.Y., Slepushkin V.V. [Method for Constructing Liquidus Curves of Binary Eutectic Systems]. *Zh. neorg. khimii* [J. Inorg. Chem.], 2015. vol. 60. no. 1. pp. 1-7. doi: 10.7868/S0044457X15010080. (in Russian).
41. Moshchenskaya E.Y., Slepushkin V.V., Rublinetskaya Y.V., Kashkarov B.I. [Method for modeling phase diagrams of two-component eutectic alloy systems]. *Izv. Vuzov. Seriya: Himija i him. tehnologija* [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and chemical technology], 2015, vol. 58, no. 3, pp. 38-42 (in Russian).
42. Moshchenskaya E.Y., Slepushkin V.V. [Construction of Retrograde Liquidus Curves of Binary Eutectic Systems]. *Zh. neorg. khimii* [J. Inorg. Chem.], 2016. vol. 61. no 3. pp. 357-361. doi: 10.7868/S0044457X16030181 (in Russian).
43. Slepushkin V.V., Rublinetskaya Y.V., Moshchenskaya E.Y., Kashkarov B.I., [Activity and activity coefficients of the dissolving phase of a heterogeneous alloy under local voltammetry conditions]. *Izv. Vuzov. Seriya: Himija i him. tehnologija* [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and chemical technology], 2016, vol. 59, no 2, pp. 22-25 (in Russian).
44. Moshchenskaya E.Y., Stifatov B.M. [Study of The Possibility of Using Theoretical Modeling Methods To Determine The Eutectic Composition Of Binary Alloys]. *Vestnik Tverskogo gos. un-ta. Seriya: Himija* [Bulletin of Tver State Un-ty. Series: Chemistry], 2021, no 3 (45), pp. 105-122. doi: 10.26456/vtchem2021.3.12 (in Russian).
45. Rublinetskaya Y.V., Moshchenskaya E.Y., Rostova M.Yu. [Method for calculating the activity coefficient and activity of components of eutectic alloys]. *XXI Mendeleevskii s'ezd po obshchei i prikladnoi khimii: tezisy dokl.* [XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry: abstracts of reports]. Saint Petersburg, 2019, p. 310 (in Russian).
46. Rostova M.Yu., Moshchenskaya E.Y., Rublinetskaya Y.V. [Calculation of the activity coefficient and activity of the dissolving phase of eutectic alloys]. *XXI Mendeleevskii s'ezd po obshchei i prikladnoi khimii: tezisy dokl.* [XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry: abstracts of reports]. Saint Petersburg, 2019, p. 376 (in Russian).
47. Slepushkin V.V., Rublinetskaya Yu.V., Moshchenskaya E.Yu., Kashkarov B.I. [Activity and activity coefficients of dissolving phase of heterogeneous alloy under conditions of local voltamperometry]. *Izv. Vuzov. Seriya: Himija i him. tehnologija* [Proceedings of Universities. Series: Chemistry and chemical technology], 2016, vol. 59, no. 2, pp. 22-25 (in Russian).
48. Kashkarov B.I., Rublinetskaya Y.V., Moshchenskaya E.Y., Slepushkin V.V. [Calibration Curve Equation in the Local Voltammetry of Eutectic Alloys with Anomalous and Divorced Eutectics]. *Zh. analit. khimii*. [J. Anal. Chem], 2017. vol. 72. no. 1. pp. 89-90. doi: 10.7868/S0044450216110062 (in Russian).
49. Moshchenskaya E.Y., Slepushkin V.V. [Application program for calculating partial dissolution currents and distribution parameters of phase diagrams "composition-current" of two-component eutectic alloy systems in local electrochemical analysis]. Certificate of registration of a computer program RU 2016610149, 11.01.2016. Application No. 2015660561 Dated 05.11.2015. (in Russian).
50. Moshchenskaya E.Y., Slepushkin V.V., Rublinetskaya Y.V., Kashkarov B.I. [Calibration Curve Equation In Local Voltammetry Of Heterogeneous Alloys]. *Zh. analit. khimii*. [J. Anal. Chem], 2017. vol. 72. no 2. pp. 167-169. doi: 10.7868/S0044450216120082 (in Russian).
51. Rostova M.Y., Rublinetskaya Y.V., Rasshchepkina N.A., Moshchenskaya E.Y. [Equation of the calibration curve in local chronopotentiometry of eutectic alloys]. *XXI Mendeleevskii s'ezd po obshchei i prikladnoi khimii: tezisy dokl.* [XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry: abstracts of reports]. Saint Petersburg, 2019, p. 375 (in Russian).
52. Moshchenskaya E.Y., Rostova M.Y., Rublinetskaya Y.V. [Modeling of composition-temperature and composition-current diagrams for the aluminum-silicon system]. *IV Vserossiiskoi konf. "Khimija i khimicheskaja tehnologija: dostizhenia i perspektivy": tez. dokl.* [IV All-Russian Conf. "Chemistry and chemical technology: achievements and prospects": abstract report]. 2018, pp. 130.1-130.5 (in Russian).
53. Moshchenskaya E.Y., Stifatov B.M. [Modeling of "composition-temperature" and "composition-activity, activity coefficient" diagrams for the "aluminum-silicon" system]. *Matematicheskoe modelirovanie v estestvennyh naukah* [Mathematical modeling in natural sciences]. 2021. vol. 1. pp. 12-14 (in Russian).
54. Moshchenskaya E.Y., Stifatov B.M. [Modeling composition-property diagrams for aluminum-silicon diagrams]. *Zhurn. Sib. fed. Un-ta. Seriya: Himija*. [J. Sib. Fed. University. Series: Chemistry], 2023, vol. 16, no. 1, pp. 107-115 (in Russian).