

**Учредитель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (614990, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15)**

В журнале публикуются результаты оригинальных исследований и научные обзоры по основным направлениям химии, в том числе по физико-химическому анализу многокомпонентных систем, направленному синтезу органических соединений, процессам комплексообразования ионов металлов с органическими лигандами, электрохимическим процессам и процессам защиты от коррозии, физико-химическим основам получения новых материалов.

**Главный редактор:**

*Елохов Александр Михайлович*, канд. хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

**Редакционный совет**

*Авдеев Ярослав Геннадиевич*, д-р хим. наук, доцент, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва.

*Ашихмина Тамара Яковлевна*, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, Вятский государственный университет, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Киров.

*Балакирев Владимир Федорович*, д-р хим. наук, профессор, чл.-корр. РАН, советник РАН, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Лауреат Государственной премии РФ, Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург.

*Введенский Александр Викторович*, д-р хим. наук, профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж;

*Данилов Вячеслав Петрович*, д-р хим. наук, профессор, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва.

*Долганов Александр Викторович*, канд. хим. наук, доцент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва, Саранск.

*Ильин Константин Кузьмич*, д-р хим. наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов.

*Ким Дмитрий Гыманович*, д-р хим. наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск.

*Майстренко Валерий Николаевич*, д-р хим. наук, профессор, Башкирский государственный университет, Уфа.

*Решетников Сергей Максимович*, д-р хим. наук, профессор, Удмуртский государственный университет, Ижевск.

*Сайкова Светлана Васильевна*, д-р хим. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, Красноярск.

*Сафармамдзода Сафармамд Муборакишо*, д-р хим. наук, профессор, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан.

*Стрельников Владимир Николаевич*, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН, «Институт технической химии УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь.

*Улахович Николай Алексеевич*, д-р хим. наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань.

*Шкляев Юрий Владимирович*, д-р хим. наук, профессор, «Институт технической химии УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь

**Редакционная коллегия**

*Дегтев Михаил Иванович*, д-р хим. наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

*Зубарев Михаил Павлович*, канд. хим. наук, доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

*Кистанова Наталья Сергеевна*, канд. хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

*Кудряшова Ольга Станиславовна*, д-р хим. наук, профессор, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь

*Леснов Андрей Евгеньевич*, д-р хим. наук, «Институт технической химии УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь

*Масливец Андрей Николаевич*, д-р хим. наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

*Машевская Ирина Владимировна*, д-р хим. наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

*Шеин Анатолий Борисович*, д-р хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

*Шуров Сергей Николаевич*, д-р хим. наук, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь.

Издание включено в национальную информационно-аналитическую систему «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Подробные сведения о журнале, его редакционная политика и условия публикации размещены на интернет-сайте <http://press.psu.ru/index.php/chem>

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-66772 от 08.08.2016 г.

**Founder: Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614990, Russia)**

The journal publishes the results of original research and reviews on the main areas of chemistry, including the physicochemical analysis of multicomponent systems, targeted synthesis of organic compounds, processes of metal ions complexation with organic ligands, electrochemical processes and corrosion protection, physical and chemical foundations synthesis new materials.

**Chief Editor:**

*Aleksandr M. Elokhov*, Candidat of Chemical Sciences, Perm State University, Perm, Russia.

**Editorial Board:**

*Yaroslav G. Avdeev*, Doctor of Chemical Science, Associate Professor, Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

*Tamara Ya. Ashikhmina*, Doctor of Engineering Science, Professor, Honorary Worker of Russian Higher Education, Vyatka State University, Institute of Biology of Komi Science Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kirov, Russia.

*Vladimir F. Balakirev*, Doctor of Chemical Science, Professor, Corresponding member of RAS, Advisor of RAS, Honored Worker of Science and Technology of Russia, Laureate of the State Prize of the Russia, Institute of Metallurgy of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.

*Aleksandr V. Vvedenskii*, Doctor of Chemical Science, Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russia.

*Vyacheslav P. Danilov*, Doctor of Chemical Science, Professor, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of Russian Academy of Science, Moscow, Russia.

*Aleksandr V. Dolganov*, Candidat of Chemical Science, Associate Professor, Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia.

*Konstantin K. Il'in*, Doctor of Chemical Science, Professor, Honorary Worker of Russian Higher Education, Saratov State University, Saratov, Russia.

*Dmitriy G. Kim*, Doctor of Chemical Science, Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

*Valery N. Maistrenko*, Doctor of Chemical Science, Professor, Bashkir State University, Ufa, Russia.

*Sergei M. Reshetnikov*, Doctor of Chemical Science, Professor, Udmurt State University, Izhevsk, Russia.

*Svetlana V. Saykova*, Doctor of Chemical Science, Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

*Safarmamad M. Safarmamadzoda*, Doctor of Chemical Science, Professor, Tajik National University, Dushanbe, Tajikistan.

*Vladimir N. Strelnikov*, Doctor of Engineering Science, Professor, Corresponding member of RAS, Institute of Technical Chemistry of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia.

*Nikolay A. Ulakhovich*, Doctor of Chemical Science, Professor, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

*Yuriy V. Shklyayev*, Doctor of Chemical Science, Professor, Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia.

**Editorial Staff:**

*Mikhail I. Degtev*, Doctor of Chemical Science, Professor, Perm State University, Perm, Russia.

*Mikhail P. Zubarev*, Candidat of Chemical Sciences, Associate Professor, Perm State University, Perm, Russia.

*Natalya S. Kistanova*, Candidat of Chemical Sciences, Perm State University, Perm, Russia.

*Olga S. Kudryashova*, Doctor of Chemical Science, Professor, Natural Science Institute of Perm State University, Perm, Russia.

*Andrey E. Lesnov*, Doctor of Chemical Science, Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia.

*Andrey N. Maslivets*, Doctor of Chemical Science, Professor, Perm State University, Perm, Russia.

*Irina V. Mashevskaya*, Doctor of Chemical Science, Professor, Perm State University, Perm, Russia.

*Anatoly B. Shein*, Doctor of Chemical Science, Perm State University, Perm, Russia.

*Sergey N. Shurov*, Doctor of Chemical Science, Perm State University, Perm, Russia.

The journal is included in national information and analytical system «Russian Science Citation Index» (RISC).

Detailed information about the journal, its editorial policy and requirements for publication are provided at the website <http://press.psu.ru/index.php/chem>

The journal was registered in the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (Roskomnadzor). The certificate ПИ № ФС 77-66772, Aug. 08. 2016.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Рогожников С.И.**

Феликс Августович Кесслер – ученый, стоявший у истоков высшего химического образования в Пермском университете (к 90-летию кафедры аналитической химии) 191

**Бажов Е.А., Красновских М.П., Мокрушин И.Г., Юнусов Р.И.**

Взаимодействие бутадиен-нитрильного каучука с фенолформальдегидными смолами random-структуры 201

**Борисова Е.М., Решетников С.М., Фатхутдинова А.М.**

Улучшение антикоррозионных свойств некоторых сплавов меди как потенциальных материалов для электрических контактных соединений 209

**Денисова С.А., Заболотных С.А., Голдобина Т.И.**

Влияние катамина АБ на комплексообразование скандия с пирокатехиновым фиолетовым 221

## CONTENTS

**Sergey I. Rogozhnikov**

Felix A. Kessler – scientist, who stood at origins of higher chemical education at Perm State University (on the 90th anniversary of the Department of Analytical Chemistry) 191

**Evgeny A. Bazhov, Marina P. Krasnovskih, Ivan G. Mokrushin, Ruslan I. Yunusov**

Interaction of butadiene-nitrile rubber with phenol-formaldehyde resins of random structure 201

**Elena M. Borisova, Sergey M. Reshetnikov, Aliya M. Fathutdinova**

Improvement of anticorrosion properties of some copper alloys as potential materials for electrical contact connections 209

**Svetlana A. Denisova, Svetlana A. Zabolotnykh, Tatyana I. Goldobina**

The influence of catamine AB on complexation scandium with pyrocatechin violet 221

— ИСТОРИЯ ХИМИИ. ПЕРСОНАЛИИ —

Персоналии

УДК 543

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-191-200>

**Феликс Августович Кесслер – ученый, стоявший у истоков высшего химического образования в Пермском университете (к 90-летию кафедры аналитической химии)**

**Сергей Иванович Рогожников**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена жизни и деятельности Феликса Августовича Кесслера, созданию кафедры и лаборатории аналитической химии и кафедры неорганической химии Пермского государственного университета.

**Ключевые слова:** Ф.А. Кесслер; кафедра неорганической химии Пермского государственного университета; лаборатория аналитической химии Пермского государственного университета; кафедра аналитической химии Пермского государственного университета.

**Для цитирования:** Рогожников С.И. Феликс Августович Кесслер – ученый, стоявший у истоков высшего химического образования в Пермском университете (к 90-летию кафедры аналитической химии) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 4. С. 191–200. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-191-200>.

Personalities

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-191-200>

**Felix A. Kessler –scientist, who stood at origins of higher chemical education at Perm State University (on the 90th anniversary of the Department of Analytical Chemistry)**

**Sergey I. Rogozhnikov**

Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** The article is devoted to the life and work of Felix A. Kessler, the creation of the Department and Laboratory of Analytical Chemistry and the Department of Inorganic Chemistry of Perm State University.

**Keywords:** Felix A. Kessler; Department of Inorganic Chemistry of Perm State University; Laboratory of Analytical Chemistry of Perm State University; Department of Analytical Chemistry of Perm State University.

**For citation:** Rogozhnikov, S.I.(2022) “Felix A. Kessler –scientist, who stood at origins of higher chemical education at Perm State University (on the 90th anniversary of the Department of Analytical Chemistry)”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 4, pp. 191–200. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-191-200>.



Пермский университет, положивший начало высшему образованию на Урале, был открыт 1 октября (14 октября) 1916 г. Он стал одиннадцатым государственным университетом России и последним университетом, открытым в стране до революции. Практически с образованием нового университета образовалась первая химическая кафедра – ею стала кафедра неорганической и аналитической химии. Возглавил кафедру доцент Юрьевского университета Николай Викторович Култашев. Весь персонал кафедры состоял из трех человек – Н.В. Култашева, заведующего хозяйством ассистента В.В. Богоявленского и руководителя аналитического практикума ст. ассистента А.Г. Калье.

В 1917 году на базе кафедры была организована лаборатория аналитической химии в составе А.Г. Калье, Т.Б. Поленовой и Ф.А. Кесслера (принят ассистентом в 1918 г.).

Феликс Августович Кесслер (рис. 1) проработал в Пермском университете вплоть до 1937 г. больше всех из ученых, стоявших у истоков химического образования в ПГУ, внеся огромный вклад в становление и развитие химического факультета и, в частности, кафедры неорганической химии, и особенно лаборатории, а затем и кафедры аналитической химии.

Феликс Августович Кесслер родился 23 октября 1880 г в г. Новгороде в семье немецкого фармацевта, надворного советника Августа Оттона Кесслера и его жены Гермینی-Юлиии Иоганны. В 1886 году семья Кесслеров переехала в Варшаву, где Феликс в 1890 г. поступил, а в 1900 г. окончил первую мужскую гимназию.

В его аттестате зрелости написано: «1)... за все время обучения в гимназии поведение его

вообще было отличное, исправность в посещении и приготовлении уроков, а также в исполнении письменных работ хорошая, прилежание хорошее и любознательность удовлетворительная; 2)...обнаружил нижеследующие познания: в Законе Божьем пять, Русском языке и Словесности четыре, Логике четыре, Латинском языке три, Греческом языке четыре, Математике четыре, Физике четыре, Географии четыре, Истории пять, Немецком языке пять».



Рис. 1. Ф. А. Кесслер

В августе 1900 г. Ф.А. Кесслер поступил на физико-математический факультет Императорского Санкт-Петербургского университета. Увлечшись революционными идеями, он дважды в 1901 г. участвовал в демонстрациях, организованных эсерами. За участие в демонстрации на Казанской площади Кесслер был арестован полицией и отчислен из университета. В период с 1902 г. по 1903 г. Феликс отбывал воинскую повинность в Варшаве в качестве вольноопределяющегося кондуктора первого класса 2-й Привислянской инженерной дистанции.

В 1904 г., выдержав вступительный экзамен, Ф.А. Кесслер был условно зачислен в Рижский

политехнический институт. Прежде чем принять окончательное решение, администрация университета решила ознакомиться с прошлым нового студента. Для этого был сделан запрос в Санкт-Петербургский университет. В ответном письме ректор университета сообщил следующее: «бывший студент вверенного мне Университета Феликс Кесслер, за время пребывания в Университете...ни в чем предосудительном замечен не был, а вне стен Университета он участвовал 19 февраля 1901 г. в демонстрационном шествии от Казанского собора по Невскому проспекту и 4 марта того же года в демонстрации на Казанской площади, за что ему вменено в наказание содержание под стражей...Препятствий к приему его во вверенный Вам Институт с моей точки зрения не встречается». Однако директор института рассудил иначе, и через два месяца пребывания в Риге Ф.А. Кесслера отчислили из вуза.

После этого Феликс Августович подал прошение с просьбой принять его в число студентов химического отделения физико-математического факультета Юрьевского университета, начиная со второго семестра, указав, что в Санкт-Петербургском университете им прослушаны лекции по химии, физике, кристаллографии, ботанике, зоологии и анатомии. Ректор дал согласие, но с условием, в соответствии с которым 21 января 1905 г. Ф.А. Кесслер дал подписку «...не принадлежать ни к какому тайному сообществу...не вступать и в дозволенные законом общества...». О том, что он с 1903 г. является членом партии социалистов-революционеров, Феликс Августович умолчал. Однако общение с эсерами не прошло мимо внимания полиции. Осенью 1907 г. во время обыска на квартире Ф.А. Кесслера была обна-

ружена типография, за что его в 1908 г. приговорили к четырем годам каторжных работ с последующей ссылкой на поселение.

Отбыв приговор в тюрьмах Ревеля, Риги и Москвы, Феликс Августович в 1913 г. был направлен на поселение в Сибирь, сначала в г. Киренск, а затем в Иркутск. За годы нахождения в Сибири он работал корреспондентом в газете, десятником на стройках, лаборантом в городской химической лаборатории, землеустроителем в Красноярском крае, на химическом заводе.

В 1918 году Ф.А. Кесслер оказался в Перми, откуда родом была его жена – Зоя Александровна Наумова, с которой он познакомился, находясь в ссылке. В том же году по инициативе Н.В. Култашева Ф.А. Кесслер был приглашен в Пермский университет, где с 1 марта занял должность младшего ассистента кафедры неорганической и аналитической химии. В Перми Феликсу Августовичу поручили проведение практических занятий со студентами по неорганической и аналитической химии, подготовку для Н.В. Култашева демонстрационных экспериментов, а также организацию лаборатории аналитической химии.

В 1919 г. Феликс Августович Кесслер с отступающими войсками Колчака был эвакуирован в Томск откуда вернулся обратно лишь в 1921 г. Первые годы работы Кесслера в Перми были связаны с организацией работы лаборатории аналитической химии, поиском реактивов и лабораторного оборудования, необходимого для осуществления учебного процесса. Это был очень тяжелый период в жизни Феликса Августовича, на руках которого к тому же находилась больная жена и двое малолетних детей. Всю тяжесть положения и нищету существова-

ния Ф.А. Кесслера в этот период характеризует письмо ректора ПГУ в Пермский Губпродком от 6 сентября 1922 г., в котором тот писал: «Преподаватель университета Ф.А. Кесслер находится в крайне тяжелом материальном положении вследствие отсутствия у него одежды и пальто. Это обстоятельство лишает его с наступлением холодов выходить из дома и таким образом препятствует исполнения им возложенных на него обязанностей заведования хозяйством лаборатории...и является несовместимым с положением преподавателя университета».

В связи с этим ректор просил отпустить Феликсу Августовичу за счет университета в кредит сроком до 1 января 1923 г. сатина и сукна на костюм и пальто, а также полотна на две смены белья, поскольку незначительное денежное содержание не позволяло Ф.А. Кесслеру потратить одновременно крупную сумму на приобретение зимней одежды.

В должности заведующего хозяйством лаборатории аналитической химии Ф.А. Кесслер был совершенно незаменим. Он был образцом бережливого хозяина, до педантичности аккуратного в расходовании лабораторных средств. Он постоянно занимался развитием лабораторной базы, поиском нового оборудования и реактивов. С 1921 по 1926 г. Феликс Августович руководил практическими занятиями по аналитической химии со студентами физико-математического и агрономического факультетов, был лекционным ассистентом по курсам, читаемым Д.В. Алексеевым и И.К. Куликовским.

После создания в Пермском университете в 1923 г. химико-фармацевтического отделения Феликс Августович был избран ассистентом по

кафедре неорганической и аналитической химии, и ему было поручено самостоятельное ведение занятий по аналитической химии со студентами этого же отделения. В документах того времени Ф.А. Кесслер упоминается то в качестве ассистента кафедры неорганической химии, то в качестве ассистента кафедры аналитической химии, что является следствием существования объединенной кафедры.

По воспоминаниям сотрудников, работавших вместе с Феликсом Августовичем в период реорганизации университета и факультета, он принимал активное участие в создании и других химических кафедр и лабораторий. Д.В. Алексеев считал Ф.А. Кесслера талантливым и прирожденным преподавателем, а заслуги его перед лабораторией в период с 1921 по 1924 г. громадными, так как только при беспримерном самопожертвовании лабораторного персонала та могла функционировать почти без средств, реактивов и посуды.

Главной заслугой Ф.А. Кесслера было создание в ПГУ своеобразной школы химического образования, построение всего учебного процесса на основе строго научного подхода. На своих занятиях со студентами Феликс Августович стремился искоренить шаблонность и бессистемность в работе, механическое заучивание учебного материала. Его коллоквиумы отличались ясностью изложения, преследовали цель проверки усвояемости фактического материала. Ф.А. Кесслер умел изложить учебный материал в понятной для студентов форме, всегда был готов помочь им в усвоении сложных вопросов, готов был объяснять материал, до тех пор, пока не станут понятными даже мельчайшие детали. Стараясь дать студентам максимально качественную подготовку, Феликс Ав-

густович Кесслер очень серьезно подходил к проверке знаний студентов. Это создало ему известность как одного из самых требовательных преподавателей в городе. Несмотря на такую жесткость в проверке знаний, Ф.А. Кесслер заслужил уважение и признательность со стороны своих учеников (рис. 2).

Борясь за качество обучения студентов, он резко выступал против ускоренных темпов подготовки студентов, против внедрения бригадного метода обучения, метода проектов, был противником чисто лекционного метода в преподавании химии. На своих занятиях Ф.А. Кесслер пытался привить студентам химическое мышление, старался использовать новые методы преподавания, учил их решать различные химические задачи. Впоследствии многие студенты, прошедшие обучение у Феликса Августовича, единодушно сходились во мнении в том, что та школа, которую они прошли под его руководством, сыграла важней-

шую роль в их профессиональной карьере и что именно Ф.А. Кесслеру они обязаны получением основ аналитического мышления, ставшего фундаментом их дальнейшего химического образования.

Многочисленные занятия, зачастую до позднего вечера, и учебная нагрузка, превышающая в 2–2,5 раза нормативный минимум, лишили Феликса Августовича возможности заниматься научной работой и публиковать труды, что являлось главным критерием работы преподавателя, однако его исключительный талант ведения хозяйственной работы, исключительная преданность науке, методический дар компенсировали этот недостаток.

Несмотря на большую загруженность, Феликс Августович все же пытался заниматься научной работой, однако в Перми не было подходящих условий для этого, в частности, не было ни литературы, ни специального оборудования необходимого ему.



Рис. 2. Ф.А.Кесслер и Д.В.Алексеев со студентами химико-фармацевтического отделения (1927 г.)

Ситуацию с занятиями научными исследованиями усугубила и беда, пришедшая в дом Кесслера в сентябре 1925 г. В Ялте скончалась

от туберкулеза жена Феликса Августовича, уехавшая туда на лечение. В связи с этим, кроме огромной педагогической нагрузки, на плечи

Ф.А. Кесслера легла еще и ответственность за материальное обеспечение и воспитание двух малолетних сыновей.

Феликс Августович относился к числу тех сотрудников, без которых невозможно было представить нормальную работу химического отделения, а затем химического факультета, – эрудированным, трудолюбивым, инициативным и ответственным. Часто его как грамотно-

го и опытного специалиста, к тому же много повидавшего в жизни, просили высказать свое мнение по тому, или иному вопросу. На квартире Феликса Августовича часто устраивались встречи за чашкой чая, на которых сослуживцы, общаясь, обсуждали разные темы. Этим встречам способствовало и то, что сотрудники компактно проживали на территории университета (рис. 3).



Рис. 3. Ф.А. Кесслер на занятиях со студентами химфака (1935 г.)

Будучи заведующим хозяйством лаборатории аналитической химии, Феликс Августович Кесслер фактически с 1924 по 1932 г. возглавлял лабораторию аналитической химии, которая обслуживала (до 1929 г.) все три факультета Пермского университета (педагогический, медицинский, сельскохозяйственный).

Он был секретарем предметной комиссии химико-фармацевтического отделения, старшим ассистентом химико-фармацевтического отделения ПГУ (с 25 января 1929 г.), секретарем химического факультета (29.10.1929–01.06.1930), старшим ассистентом Пермского химико-технологического института, помощ-

ником заведующего учебной частью Пермского химико-технологического института, доцентом (1931), заведующим кафедрой аналитической химии Пермского химико-технологического института (с 01.01.1932).

Помимо работы в ПГУ Ф.А. Кесслер три года состоял преподавателем в Фармацевтическом техникуме, около года химиком-аналитиком при сельскохозяйственной станции, в 1930-е годы по совместительству преподавал в пединституте и мединституте. Феликс Августович читал лекции рабочей молодежи, техническому персоналу, занимал массу различных должностей, участвовал в разнообразных комиссиях, созданных по

тому или иному поводу. С 1 июля 1933 г. Ф.А. Кесслер – заведующий кафедрой неорганической химии Санитарного факультета Пермского медицинского института.

В 1933–1934 учебном году ввиду временного отсутствия руководителя кафедры неорганической химии ПГУ Ф.А. Кесслер был приглашен для чтения курса неорганической химии на химический факультет университета, параллельно с преподаванием также временно возглавив кафедру. После ликвидации в 1934 г. Санитарного факультета медицинского факультета Кесслер полностью перешел на работу в ПГУ, где работал доцентом по кафедре неорганической химии (с 1935 г.).

В 1936 году в Перми широко отмечалось 20-летие Пермского университета. К этой дате был издан юбилейный том «Ученых записок», посвященный истории университета и его кафедр. Наряду с другими в нем была помещена статья доцентов Ф.А. Кесслера и Г.Г. Кобяка, в которой рассказывалось об этапах, пройденных кафедрой аналитической химии за 20 лет.

Дальнейшая судьба Ф.А. Кесслера сложилась трагично. 28 октября 1937 г. он был арестован. Следствие обвинило его в принадлежности к эсеровской контрреволюционной организации и активной контрреволюционной работе, террористической и диверсионной деятельности. Учтя уроки своей молодости, Феликс Августович давно отошел от какой-либо политической деятельности, а его «дело», пестрящее словами «террористический и контрреволюционный» было полностью сфабрикованным.

Основными свидетелями по делу Ф.А. Кесслера были другие обвиняемые, содержащиеся под стражей. Вот какие показания они дали на Феликса Августовича:

– «На квартире Кесслера обсуждались вопросы о методах борьбы с ВКП(б) и Советской властью, организации диверсий и вредительства на заводах, главным образом оборонной промышленности, создание повстанческих кадров из антисоветских элементов, в первую очередь из кулаков и белогвардейцев».

– «Задачей эсеровской контрреволюционной повстанческой организации была пропаганда, направленная на дискредитацию новой Конституции и Верховного Совета», вербовка в организацию главным образом из числа кулаков, белогвардейцев и исключенных из ВКП(б) наиболее реакционных элементов.

– «свержение Советской власти вооруженным путем...».

– «В 1932 г. Кесслер завербовал ряд научных и педагогических работников ПГУ. Среди них: Лапкин – доцент, Полукаров – ассистент, Балахонов – ассистент, Ежов – старший ассистент, Трифонов – профессор, Генкель – профессор». (По-видимому, подготавливалась почва для создания дел и против других сотрудников ПГУ)

– «От К. и Кесслера в 1936 г. я узнал, что боевые террористические группы по их заданию проводили на селе террористические акты над местными советскими, партийными работниками».

– «Лично от Кесслера мне стало известно, что он был связан с германскими разведывательными органами через одного иностранца, по-видимому, немца через которого он и передавал за деньги материалы шпионского характера».

– «Будучи компетентным в области химии, Кесслер выдвинул идею обращения минеральных удобрений против урожая. Кесслер пред-

ложил ввести в химикаты азотную кислоту...Ведущий вопросами химизации в точности выполнил совет Кесслера и поля Муллинского, Юговского и большинства прилегающих к городу колхозов были отравлены химикатами» и др.

Из протоколов следственного дела Ф.А. Кесслера следует, что были допрошены все сотрудники университета, знавшие Феликса Августовича. Однако В.Ф. Усть-Качкинцев, П.А. Генкель, Р.В. Мерцлин, И.И. Лапкин, проработавшие с Ф.А. Кесслером много лет, знали лишь о его самоотверженном труде на благо факультета и обвинительных показаний против него не дали. Они отметили лишь, что его высказывания, сделанные на собраниях и занятиях политкружка, носили не агитационный, а дискуссионный характер, отчего по некоторым вопросам возникали споры, но, ни о какой антисоветской деятельности им ничего не известно. На протяжении всего следствия Кесслер, несмотря на сильнейшее психологическое давление следователей, держался стойко, категорически отрицая все выдвинутые против него обвинения, и виновным себя не признавал.

Другие обвиняемые, не выдержав прессинга следователя, первоначально дали обвинительные показания не только против Кесслера, но даже против себя. В конце следствия они, правда, отказались от них. Так, один из обвиняемых заявил: «То, что написано в моих показаниях от 15.3.38 г. ложно». На вопрос о том, что заставило его дать такие показания, ответил: «Показания эти вначале я не давал. Однако после того, как на протяжении трех суток меня допрашивали, угрожали арестовать жену или же выселить из города, если я не подпишу показания, я был вынужден подписать».

Другой обвиняемый на вопрос следователя, когда ему стало известно о Кесслере, как об участнике эсеровской контрреволюционной организации сообщил: «Эти показания неправдоподобны. Никогда О. мне о Кесслере как об участнике контрреволюционной организации не рассказывал. Кесслера я совершенно не знаю». Обвиняемый З. заявил: «...эти показания вымышленные, я от них категорически отказываюсь. Я сам не давал таких показаний, они были составлены следователем Ш-м, а я их только подписал, причем подписывал заведомо ложные данные». Отказались от ранее данных обвинений и другие обвиняемые.

Жалоба Ф.А. Кесслера в Верховный суд не была удовлетворена. Скорее она возымела обратное действие, так как, возвращая «следдело №36365 по обвинению эсера Кесслер Ф.А., снятое с ВК Верховного суда СССР на доследование», в секретном письме Государственного управления безопасности на имя начальника Пермского городского отдела НКВД указано, что «в ходе проверки все материалы следствия, сводившиеся к обвинению Кесслер как участника эсеровской организации, не подтвердились; вместе с этим установлено, что следствием совершенно не расследована существовавшая действительность по делу». «Имеющиеся показания свидетельствуют о том, что в Госуниверситете существовала антисоветская группировка. В квартире Кесслер вел контрреволюционную пропаганду, однако в этом направлении дело совершенно не расследовалось. Исходя из этого, Вам необходимо при доследовании весь упор сделать в направлении вскрытия этой антисоветской группировки и всесторонне установить всю контрреволюционную деятельность, проводимую Кесслер в университете».

Этот документ является ярким свидетельством произвола следователей и беззакония властей в то время. Хотя в нем и отмечается, что в деле Кесслера нет доказательств его вины, фактически предписывается обвинить его, и указывается, как это лучше сделать. Согласно рассекреченным материалам в 1937 г. органы НКВД получили предписание, одобренное советским руководством, о том, сколько людей данной республики нужно арестовать, сколько расстрелять, сколько отправить в лагеря.

Суд, состоявшийся 20 марта 1939 г., признал Ф.А. Кесслера виновным в ведении контрреволюционной агитации, направленной на дискредитацию политики и руководства ВКП (б), высказывании контрреволюционных взглядов по крестьянскому вопросу, пропаганде теории врага народа Бухарина, дискредитации Постановления ЦК ВКП (б) «Об отмене карточной системы». На основании вышесказанного Ф.А. Кесслер был приговорен по статье 58-10 за антисоветскую агитацию к пяти годам исправительно-трудовых лагерей с последующим поражением в правах на три года.

Срок заключения у Ф.А. Кесслера закончился в 1942 г., но во время войны, осужденные по 58-й статье, на основании специального постановления из лагерей не освобождались – даже по окончании срока заключения. Выйти на свободу, Феликсу Августовичу было не суждено. Он умер в КаргопольЛАГе 25 августа 1945 г. 1 августа 1997 г. прокуратурой Пермской облас-

ти Феликс Августович Кесслер был реабилитирован на основании закона РФ от 18.01.91г. «О реабилитации жертв политических репрессий».

О личной жизни Ф.А. Кесслера известно мало. После смерти жены в 1925 г. у него на руках осталось двое сыновей: Илья – 1921 г.р. и Герман – 1923 г.р. Сведения о судьбе сыновей Ф.А. Кесслера немногочисленны. Известно, что после его ареста их приютила сердобольная домработница. Когда началась Великая Отечественная война, Илья Кесслер был призван в армию, окончил школу летчиков, воевал и погиб на фронте 13 сентября 1943 г. По воспоминаниям сотрудников университета погиб на фронте и второй сын Феликса Августовича – Герман.

Ф.А. Кесслер, внесший значительный вклад в становление и развитие химического факультета Пермского университета, – лишь одна из многих жертв политических репрессий того времени. В ПГУ были репрессированы и многие другие преподаватели, а также несколько ректоров. Так, в октябре 1936 г. был приговорен к высшей мере наказания С.Н. Седых (ректор ПГУ с 1924 по 1927 г.), в январе 1938 г. был расстрелян С.А. Стойчев (ректор с 1927 по 1931 г.), в 1944 г. в киевской тюремной больнице умер первый ректор ПГУ К.Д. Покровский. Среди химиков Пермского университета, кроме Ф.А. Кесслера, были репрессированы также Н.В. Култашев, Э.В. Змачинский и Н.А. Трифонов.

### **Библиографический список**

1. ГАПК Кесслер Ф.А. Фонд 180 Р. Опись 2. Дело 534.
2. ПермГАСПИ. Архивное дело Ф.641/1. Оп.1. Д.6544.
3. Жертвы политического террора в СССР. Книга памяти Пермской обл. Т. 12.
4. *Кислицын И.А.* Феликс Августович Кесслер – забытое имя // Проблемы теоретической и экспериментальной аналитической химии: материалы и тезисы докл. регион. науч. конф. Пермь: Пермский университет, 2002. С.71.

### **Информация об авторах**

**Рогожников Сергей Иванович**, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), sir\_rog@mail.ru.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

*Поступила 31 мая 2022 г; принята к публикации 7 декабря 2022 г.*

### **Information about the authors**

**Sergey I. Rogozhnikov**, Candidate of Chemistry Sciences, Docent, Associate professor, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva str., Perm, Russia, 614990), sir\_rog@mail.ru.

### **Conflicts of interests**

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 31 May 2022; accepted 7 December 2022.*

Научная статья

УДК 678.7+543.429.23+543.57

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-201-208>

## Взаимодействие бутадиен-нитрильного каучука с фенолформальдегидными смолами random-структуры

Бажов Евгений Алексеевич<sup>1</sup>, Красновских Марина Павловна<sup>1</sup>, Мокрушин Иван Геннадьевич<sup>1</sup>, Юнусов Руслан Иршатович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Ресол», Москва, Россия

**Аннотация.** Отработана методика вулканизации бутадиен-нитрильного каучука низкомолекулярными фенолформальдегидными смолами random-структуры. Правильность методики подтверждена данными ЯМР <sup>13</sup>C, синхронного термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрией и термомеханическим анализом полученных образцов и исходных компонентов. Показано, что полученные образцы обладают более высокими физико-механическими характеристиками в сравнении с исходным каучуком.

**Ключевые слова:** бутадиен-нитрильный каучук; фенолформальдегидная смола; вулканизация; резинотехнические изделия.

**Для цитирования:** Бажов Е.А., Красновских М.П., Мокрушин И.Г., Юнусов Р.И. Взаимодействие бутадиен-нитрильного каучука с фенолформальдегидными смолами random-структуры // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 4. С. 201–208. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-201-208>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-201-208>

## Interaction of butadiene-nitrile rubber with phenol-formaldehyde resins of random-structure

Evgeny A. Bazhov<sup>1</sup>, Marina P. Krasnovskih<sup>1</sup>, Ivan G. Mokrushin<sup>1</sup>, Ruslan I. Yunusov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Limited Liability Company «Resol», Moscow, Russia

**Abstract.** A technique for vulcanization of nitrile butadiene rubber with low-molecular-weight phenol-formaldehyde resins of random structure has been developed. The correctness of the technique was confirmed by <sup>13</sup>C NMR data, simultaneous thermal analysis and differential scanning calorimetry and thermomechanical analysis of the obtained samples and initial components. It is shown that the obtained samples have higher physical and mechanical characteristics in comparison with the original rubber.

**Key words:** butadiene-nitrile rubber, phenol-formaldehyde resin, vulcanization, rubber products.

**For citation:** Bazhov, E.A., Krasnovskih, M.P., Mokrushin, I.G. and Yunusov R.I. (2022) "Interaction of butadiene-nitrile rubber with phenol-formaldehyde resins of random structure", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 4, pp. 201–208. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-201-208>.



Уменьшение прочностных и физических характеристик может быть следствием разупрочняющего действия атомов некоторых химических элементов, которые накапливаются в тонком слое поверхности трения. В качестве основного компонента полимерной матрицы во фрикционных композиционных материалах часто используют синтетический каучук, вулканизацию которого осуществляют серой. При этом мелкодисперсная сера, вводимая в композит на этапе смешения компонентов, в процессе трения переходит в пленки переноса и диффундирует с контактной поверхности на границы зерен металла [1, 2]. В результате при нестационарном высокотемпературном трении снижается износостойкость металлических деталей трибосопряжений. Одним из решений проблемы повышения износостойкости является исключение компонентов композиционного материала, которые содержат химические элементы, разупрочняющие структуру металлического контртела [3]. Актуальной остается задача замены вулканизирующего агента – серы. Для того чтобы увеличить прочностные характеристики резинотехнических изделий, производимых на основе синтетических каучуков, разрабатываются различные рецептуры, в основу которых входят фенолоформальдегидные смолы (ФФС) [4].

Целью работы является получение полимерных материалов на основе бутадиен-нитрильного каучука (БНК), сшитых фенолформальдегидными смолами (ФФС) различного типа и изучение их физико-механических свойств.

Важнейшим критерием, определяющим вулканизационную активность смол, является наличие в них метилольных и метиленаэфирных

групп, содержание которых должно быть не менее 3%. Механизм поперечного сшивания смолами достаточно сложный. Существуют различные взгляды на то, каким образом происходит сшивка каучука ФФС. Содержание смол в резиновых смесях составляет обычно 5,0–12,0 мас. % от каучука-сырца. Температура вулканизации 140–180 °С.

Структуру феноло-формальдегидных смол удобно описывать методами ядерного магнитного резонанса. Основные сигналы групп, согласно литературным данным, представлены в табл. 1 [5].

Таблица 1

Основные сигналы ЯМР <sup>13</sup>C ФФС

Тип атомов углерода	δ, м.д.
Фенольный С-ОН	159–148
Ароматический С связанный с СН <sub>2</sub> , свободные м-С	135–127
Свободный р-углерод	121–119
Свободный о-углерод	117–115
СН <sub>3</sub> ОСН <sub>2</sub> ОН	91
Диметиленовые эфирные мостики (DMEB)	75–65
Метиленовый фрагмент (p-p)	42–40
Метиленовый фрагмент (o-p)	37–35
Метиленовый фрагмент (o-o)	32–29

Вулканизация новолачными и резольными смолами и ее механизм описаны рядом исследователей ранее. Методом ИК-спектроскопии ранее было установлено, что взаимодействие бутадиен-нитрильного каучука с ФФС описывается механизмом Ван-дер-Меера [6]. Таким образом, сшивание БНК ФФС происходит через промежуточное соединение – хинометид, но образование поперечных связей происходит за счет отщепления атома водорода от метиленовой группы, расположенной в аллильном положении каучука. Вследствие образования в процессе вулканизации термостойких С–С поперечных связей сшитого каучука, полученные

с использованием смол в качестве вулканизирующих веществ, имеют высокую теплостойкость и стойкость к тепловому старению [7]. Однако Сементовская А.А. и другие авторы не приводят данных по структуре самих смол, и новизна предлагаемого исследования состоит в изучении условий сшивания каучуков низкомолекулярными ФФС, имеющими «gandom» (неупорядоченную) структуру, подтвержденную спектроскопией ядерного магнитного резонанса на примере изучаемых композиций.

#### **Объекты и методы исследования**

Для исследования структуры исходных соединений и механизма вулканизации использовали ЯМР-спектроскопию (спектрометр Bruker Avance III HD 400 MHz). Методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК, NETZSCHQMS 403 C) и синхронного термического анализа (СТА, NETZSCHSTA 449 F1) исследовались исходные соединения, определялись пределы термической устойчивости, а также оптимальная температура вулканизации. С помощью термомеханического анализа (ТМА, NETZSCHTMA 402 F1) определяли физико-механические свойства, в частности модуль упругости (E').

В качестве основы был взят бутадиеннитрильный каучук, поскольку температурный интервал его эксплуатации лежит в пределах от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+140^{\circ}\text{C}$ , а также для него характерны высокая адгезия к металлам и антикоррозионные свойства в сравнении с другими каучуками, используемыми в промышленности [8, 9].

Одним из способов модификации свойств резин является совмещение каучуков с пластиками. Так, ПВХ используется в комбинации с полярными каучуками (чаще всего бутадиен-

нитрильный, содержащий 26–40% нитрила акриловой кислоты), благодаря чему возрастает маслостойкость и снижается воспламеняемость резинотехнических изделий. В качестве сшивающего агента выступает фенолформальдегидная смола.

#### **Экспериментальная часть**

В настоящем исследовании для получения сшитого продукта использовался бутадиеннитрильный каучук, наполненный поливинилхлоридом марки СКН-26 ПВХ-30. В качестве сшивающего агента были применены экспериментальные образцы ФФС низкомолекулярного новолака и резола компании «Resol», растворитель – метилэтилкетон. В качестве катализатора реакции вулканизации был применен хлорид олова (II), ускорители вулканизации – оксид магния и стеариновая кислота – катализатор и ускорители вводились в количестве 2 % от массы смеси.

Фенолформальдегидные смолы исследовали методом ЯМР. Растворы (50% масс.) продуктов в дейтерированном диметилсульфоксиде или метаноле проанализированы на спектрометре Bruker Avance III HD 400 MHz, температура съемки  $40^{\circ}\text{C}$ . Химические сдвиги выставлены относительно остаточного сигнала дейтерированного растворителя ДМСО- $\text{D}_6$  38,9 м.д. для  $^{13}\text{C}$  (относительно TMS) и  $\text{CH}_3\text{OH}$  47,9 м.д. для  $^{13}\text{C}$ .

Химические сдвиги атомов углерода новолачных и резольных смол представлены в табл. 2. Было установлено сохранение относительной интегральной интенсивности сигналов в основных интервалах. Новолачная смола имеет так называемую gandom-структуру характерную для большинства коммерческих смол данного типа.

Таблица 2

Значение химических сдвигов исследуемых ФФС

Тип атомов углерода	$\delta$ , м.д.
Новолачная ФФС	
Ar-C связанный с CH <sub>2</sub>	129,5
Свободный о-углерод	115,0
Свободный р-углерод	120,0
Фенольный С-ОН	154,7
Метиленовый фрагмент (o-o)	30,5
Свободный m-C	127,4
Резольная ФФС	
Метиленовые фрагменты	34,8
"-	35,2
"-	40,4
Ar-C связанный с CH <sub>2</sub> , свободный m-C	129,5
"-	127,8
Диметиленовые эфирные мостики	64,0
Фенольный С-ОН	161,0

Образцы изготавливались методом растворения отдельных компонентов в растворителе с последующим их смешиванием друг с другом. Затем в смесь растворов компонентов добавляли перетертые в ступке катализатор и ускорители

реакции, после чего смесь снова перемешивалась. Затем смесь помещалась в ультразвуковую ванну. Хорошо перемешанную смесь помещали в открытую полипропиленовую форму и подвергали постепенному нагреванию до 140°C в течение 5 часов в соответствии с описанной методикой и данными синхронного термического анализа исходных компонентов. После остывания до комнатной температуры образцы нарезали по заданным параметрам и отправляли на ТМА.

Методику получения образцов и их исследование отрабатывали на смеси каучука с 15 мас. % новолачной ФФС, что является близким к среднему содержанию в рецептурах производства резинотехнических изделий. Таким образом, получены образцы составом (см. табл. 3).

Таблица 3

Состав полученных образцов

Обозначение образца*	0	H5	H10	H15	H20	H25	H30	H35	P15
Содержание ФФС, мас. %	0	5	10	15	20	25	30	35	15
Содержание каучука, мас. %	100	95	90	85	80	75	70	65	85

\*Н – новолачная ФФС; Р – резольная ФФС

Результаты и их обсуждение

Температуру проведения реакции сшивки определяли с помощью ДСК исходной ФФС, бутадиен-нитрильного каучука и образца H15 до и после сшивания. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для исходной новолачной ФФС, начиная с 120°C, происходит удаление низкомолекулярных примесей, а выше 230°C – разложение. Термическая деструкция бутадиен-нитрильного каучука начинается при 230°C, а образца сшитого новолачной ФФС каучука H15 – при 240°C (рис. 1). Таким образом, оптимальные температуры для сшивки лежат в диапазоне 120–230°C.

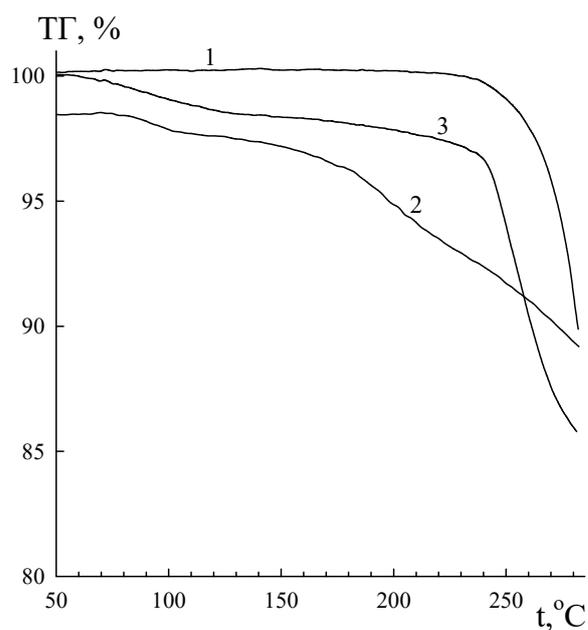


Рис. 1. ТГ-кривые бутадиен-нитрильного каучука (1), образца H15 (2) и нФФС (3)

Температуру проведения реакции определяли с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии исходной смолы, каучука и образца Н15 до и после сшивания (рис. 2).

При сравнении чистой нФФС и образца Н15 до сшивания можно наблюдать два пика. Пик в районе 60°C показывает размягчение и дальнейшее плавление нФФС в образце. Исходя из этого, оптимальной температурой для сшивания бутадиен-нитрильного каучука нФФС является 150–165°C. Нагревание при этом проводится в течение 5–6 часов с медленным повышением температуры до оптимального значения. Это необходимо для постепенного удаления растворителя и более равномерного протекания процесса вулканизация бутадиен-нитрильного каучука нФФС.

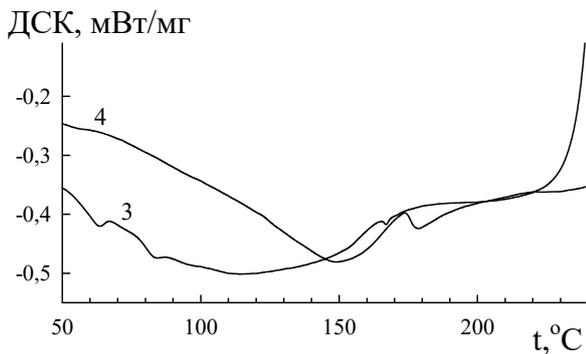
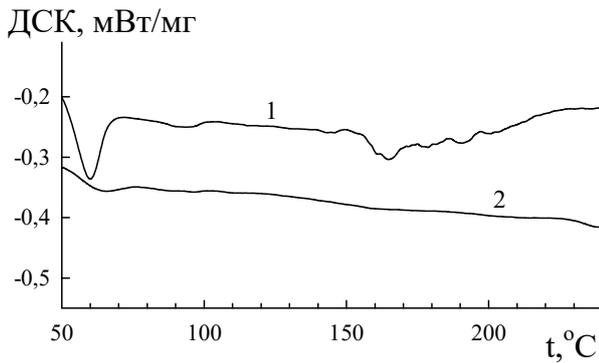
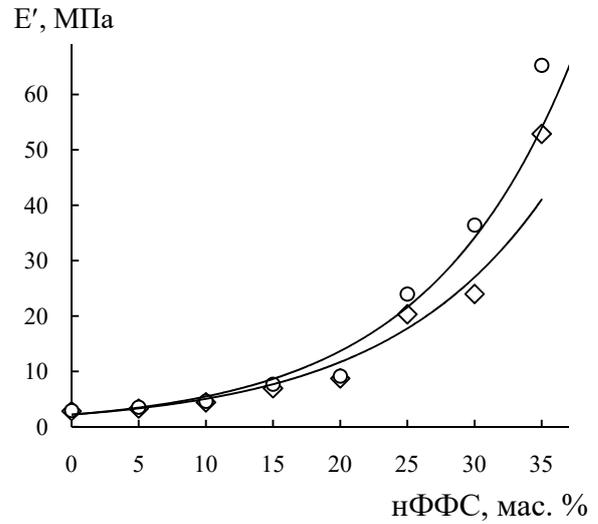


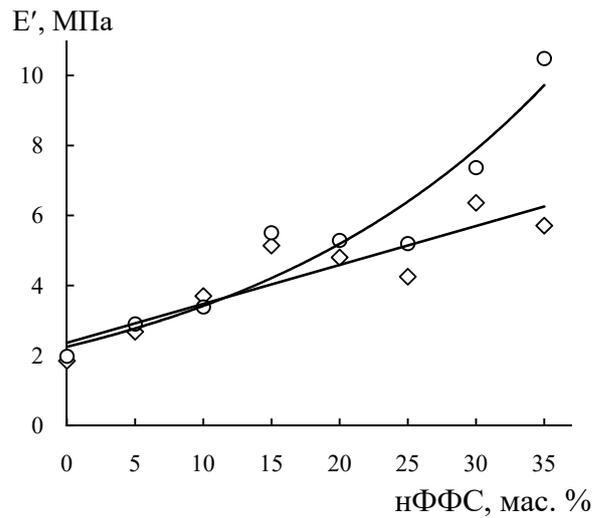
Рис. 2. ДСК-кривые нФФС (1), бутадиен-нитрильного каучука (2), образца Н15 до (3) и после (4) сшивки

Результаты термомеханического анализа образцов в двух циклах представлены на рис. 3. Так как резольная ФФС хуже растворяется и

смешивается с исходными компонентами, исследования проводили с продуктами, полученными из новолачной ФФС (нФФС).



а



б

Рис. 3. График зависимости модуля упругости от концентрации нФФС при 35°C (а) и 50°C (б): первый цикл (◇), второй цикл (○)

Из рисунка видно, что при 35°C при первом и втором растяжении образцов, модуль упругости изменяется по экспоненциальной зависимости. Модуль упругости для второго цикла выше, чем для первого. Это можно объяснить тем, что при первом цикле образцы продолжают сшиваться за счет выделяющейся теплоты. При 50°C для первого измерения зависимость явля-

ется линейной, для второго – ближе к экспоненциальной.

### Заключение

Проведенные исследования позволили отработать методику получения продуктов вулканизации бутадиен-нитрильного каучука с резольной и новолачной ФФС.

При исследовании образцов 0, Н15 и Р15 термомеханическим анализом установлено, что наибольшим модулем упругости обладает каучук, модифицированный новолачной ФФС. Резольные ФФС не совместимы с бутадиен-нитрильным каучуком и требуют введения уг-

леводородного радикала для лучшей совместимости.

Для продуктов вулканизации новолачными ФФС установлено, что модуль упругости увеличивается с ростом содержания, что свидетельствует об увеличении прочности композитов, и как результат, увеличении времени эксплуатации изделий на его основе.

Также стоит отметить, что фенольная вулканизация является эффективным методом отверждения каучуков для снижения жесткости полимерной матрицы термостойких композиционных материалов.

### Список источников

1. Колесников В.И., Казаков А.Т., Сергиенко В.П. и др. Влияние модифицирующих добавок к фрикционным материалам на структурные изменения в поверхностных слоях металлического контртела // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009, № 8. С. 23–34.
2. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / под ред. Д. Бриггс, М.П. Сих. М.: Мир, 1987. 600 с.
3. Колесников В.И., Сергиенко В.П., Сычев А.П., и др. Тепловые эффекты и структурные изменения материалов в маслоохлаждаемых фрикционных парах трения // Вестник машиностроения. 2007, № 9. С. 19–23.
4. *Связующее* для получения антифрикционных изделий, препрег и изделие, выполненное из него: патент 2313010 Российская Федерация / Фадеева В.М., Железина Г.Ф., Егорова Н.А., Кувшинов Н.П. заявитель и патентообладатель ФГУП «ВИАМ». – №2006122436/11; заявл. 26.06.2006; опубл. 20.12.2007, Бюл. № 35. 6 с.
5. *Phenolic resins: a century of progress* / Ed. L. Pilato. New York : Springer, 2010. 545 p.
6. Сементовская А.А. Вулканизация бутадиен-нитрильного каучука фенолоформальдегидными смолами. 1. Исследование механизма вулканизации методом инфракрасной спектроскопии // Полимерные материалы и технологии. 2017. Т. 3, № 2. С. 64–69.
7. *Технология* переработки полимеров. Физические и химические процессы / под ред. М.Л.Кербера. М.: Юрайт, 2019. 316 с.
8. Гончаров В.М. Принципы составления и оптимизации рецептур резиновых смесей. Красноярск: СибГТУ, 2002. 84 с.
9. *Большой справочник резинщика* / под ред. П. И. Захарченко, Ю.Л. Морозова. М.: Издательский центр Техинформ МАИ, 2012. Ч. 1. 744 с.

### Информация об авторах

**Бажов Евгений Алексеевич**, студент, химический факультет, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), Bzhov.Evgenei@yandex.ru

**Красновских Марина Павловна**, заведующий лабораторией термического анализа, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), krasnovskih@yandex.ru

**Мокрушин Иван Геннадьевич**, кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), mig@psu.ru

**Юнусов Руслан Иршатович**, руководитель отдела разработки и технической поддержки, ООО «Ресол» (119071, г. Москва, Ленинский пр-т., 15), yunusov.ri@gmail.com

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 14 ноября 2022 г; одобрена 1 декабря 2022 г; принята к публикации 7 декабря 2022 г.

### References

1. Kolesnikov, V.I., Kazakov, A.T., Sergienko, V.P. and Sychev, A.P. (2009) "Influence of modifying additives to friction materials on structural changes in the surface layers of a metal counterbody", *Friction and Lubrication in Machines and Mechanisms*, no. 8, pp. 23–34. (In Russ.).
2. Briggs, D. and Grant, J.T. (ed.) (1987) *Surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy*. Moscow, Mir. (In Russ.).
3. Kolesnikov, V.I., Sergienko, V.P., Sychev, A.P. and Kupreev, A.V. (2007) "Thermal effects and structural changes of materials in oil-cooled friction pairs of friction", *Vestnik mashinostroyeniya*, no. 9, pp. 19–23. (In Russ.).
4. Fadeeva, V.M., Zheleznina, G.F., Egorova, N.A. and Kuvshinov, N.P. (2006) *Svyazuyushcheye dlya polucheniya antifriktsionnykh izdeliy, prepreg i izdeliye, vypolnennoye iz nego* [Binder for obtaining antifric-tion products, prepreg and a product made of it], Russia, RU, pat. 2313010. (In Russ.).
5. Pilato L. (ed.) (2010) *Phenolic resins: a century of progress*, New York, Springer, 2010.
6. Sementovskaya, A.A. (2017) "Vulcanization of butadiene-nitrile rubber with phenol-formaldehyde re-sins. 1. Study of the vulcanization mechanism by infrared spectroscopy", *Polymer Materials and Technolo-gies*, vol. 3, no. 2, pp. 64–69. (In Russ.).
7. Kerber, M.L. (ed.) (2019) *Polymer processing technology. Physical and chemical processes*, Moscow, Yurayt. (In Russ.).
8. Goncharov, V.M. (2002) *Printsipy sostavleniya i optimizatsii retseptur rezinovykh smesey* [Principles of composing and optimizing formulations of rubber mixtures], Krasnoyarsk, Siberian State University. (In Russ.).
9. Zaharchenko, P.I. and Morozov, Yu.L. (ed.) (2012) *Bol'shoy spravochnik rezinshchika* [Big rubber band guide], Moscow, Tekhinform MAI. (In Russ.).

### **Information about the authors**

**Evgeny A. Bazhov**, Student, Chemistry Faculty, Perm State University (15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990), Bazhov.Evgenei@yandex.ru.

**Marina P. Krasnovskikh**, Head of Thermal analysis laboratory, Department of Inorganic Chemistry, Chemical Technology and Technosphere Security, Perm State University (15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990), krasnovskih@yandex.ru.

**Ivan G. Mokrushin**, Candidate of Chemical Sciences, Associate professor, Department of Inorganic Chemistry, Chemical Technology and Technosphere Security, Perm State University (15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990), mig@psu.ru.

**Ruslan I. Yunusov**, Head of Product Development and Technical Support Department, LLC «Resol» (15, Leninsky prospekt, Moscow, Russia, 119071),yunusov.ri@gmail.com.

### **Conflicts of interests**

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 14 November 2022; approved after reviewing 1 December 2022; accepted 7 December 2022.*

Научная статья

УДК 620.193

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-209-220>

## Улучшение антикоррозионных свойств некоторых сплавов меди как потенциальных материалов для электрических контактных соединений

Борисова Елена Михайловна, Решетников Сергей Максимович, Фатхутдинова Алия Маратовна  
Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

**Аннотация.** В работе представлен обзор литературных данных по методам исследования и улучшения технических и технологических свойств меди и медных материалов, используемых для изготовления электротехнических изделий. Выявлен недостаток, связанный с понижением стойкости к атмосферной коррозии, особенно во влажных средах. Предложен метод высокоэнергетического воздействия на поверхность с целью формирования защитных покрытий. Представлены результаты коррозионно-электрохимических испытаний образцов, подвергнутых короткоимпульсному лазерному воздействию. В ходе исследований варьировались параметры лазерного излучения: мощность, скорость сканирования поверхности, частота, защитная атмосфера. Установлены оптимальные значения параметров, обеспечивающие повышение коррозионной стойкости чистой меди и медных сплавов. Определены величины контактных сопротивлений обработанных образцов. Сделаны предварительные выводы о взаимосвязи параметров обработки с улучшением антикоррозионных свойств и изменением величины контактного сопротивления. Необходимы исследования состав и структуры образующихся поверхностных слоев.

**Ключевые слова:** медь; медные сплавы; коррозионная стойкость; короткоимпульсная лазерная обработка.

**Для цитирования:** Борисова Е.М., Решетников С.М., Фатхутдинова А.М. Улучшение антикоррозионных свойств некоторых сплавов меди как потенциальных материалов для электрических контактных соединений // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 4. С. 209–220. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-209-220>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-209-220>

## Improvement of anticorrosion properties of some copper alloys as potential materials for electrical contact connections

Elena M. Borisova, Sergey M. Reshetnikov, Aliya M. Fathutdinova  
Udmurt State University, Izhevsk, Russia

**Abstract.** The paper presents a review of literature data on methods for researching and improving the technical and technological properties of copper and copper materials used for the manufacture of electrical products. A disadvantage associated with a decrease in resistance to atmospheric corrosion, especially in humid environments, has been identified. A method of high-energy impact on the surface is proposed in order to form protective coatings. The results of corrosion-electrochemical tests of samples subjected to short-pulse laser action are presented. In the course of the research, the parameters of laser radiation were varied: power, surface scanning speed, frequency, protective atmosphere. Optimal values of the parameters are established, which provide an increase in the corrosion resistance of pure copper and copper alloys. The values of contact resistances of the processed samples are determined. Preliminary conclusions are made about the relationship between processing parameters and the improvement of anti-corrosion properties and a change in the value of contact resistance. It is necessary to study the composition and structure of the resulting surface layers.

**Key words:** copper; copper alloys; corrosion resistance; short-pulse laser processing.

**For citation:** Borisova, E.M., Reshetnikov, S.M. and Fathutdinova, A.M.(2022) "Improvement of anticorrosion properties of some copper alloys as potential materials for electrical contact connections", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 4, pp. 209–220. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-209-220>.



Развитие современных технологических процессов, внедрение новых методов производства, увеличение объемов потребляемой мощности вызывает повышенные требования по надежности энергоснабжения предприятий и обеспечение качественного изготовления элементов электротехнического оборудования. Электротехника является не только отдельной значительной областью промышленности, но и вносит существенный вклад во все отрасли хозяйственной деятельности. В результате обеспечение надежности производства и эксплуатации электротехнических изделий является ответственным этапом любого технологического процесса.

Материалы, используемые для изготовления электротехнического оборудования, должны характеризоваться малым удельным сопротивлением, достаточными прочностью и пластичностью, коррозионной стойкостью, а также способностью подвергаться сварке и пайке [1, 2]. Основным материалом высокой проводимости является медь, удельное сопротивление которой составляет  $0,017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$  и уступает лишь серебру. Среди недостатков меди наряду с высокой стоимостью можно отметить снижение химической стойкости в атмосфере воздуха при повышении влажности, что приводит к сокращению срока эксплуатации электротехнических деталей.

Наличие любых примесей в составе меди приводит к существенному негативному влиянию на значение электропроводности. Однако наряду с чистой медью в электротехнике и электроэнергетике широкое применение нашли сплавы меди с добавлением цинка (латуни) и бериллия и кадмия (бериллиевые и кадмиевые бронзы). Для них значение удельного сопро-

тивления лежит в диапазоне  $0,02\text{--}0,065 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , что в совокупности с повышенной прочностью определяет использование в различных областях промышленности.

В настоящее время продолжается активное изучение материалов на основе меди, которые подвергаются модификации путем легирования другими компонентами. Так, в работе [3] показаны результаты разработки бериллиевой бронзы, имеющей базовую композицию с добавлением кобальта. Полученный сплав отличается повышенными технологическими характеристиками, такими, как предел прочности, твердость, ударная вязкость и теплопроводность. Авторы работы [4] исследуют возможность получения субмикроструктурных высокопрочных электротехнических бронз, модифицированных механически легированными наноструктурными лигатурами. Рассматриваемая технология позволяет получить материалы, обладающие повышенными механическими свойствами. В результате исследований, проводимых авторами работы [5], показано изменение физико-химических (твердость, плотность, теплопроводность, коэффициент электросопротивления) и эксплуатационных свойств меди и оловянистой бронзы под влиянием облучения жидкой фазы наносекундными электромагнитными импульсами. Изучение структуры и свойств сплава «медь–хром», подвергнутого высокотемпературной обработке в среде крупнокристаллического порошка оксида алюминия, представлено в работе [6].

Отметим работы, посвященные повышению различными методами надежности меди и медных сплавов. Так, например, описано получение термостойкого покрытия на медной электролитической фольге путем ввода в раствор

хроматирования различных легирующих компонентов [7]; получение защитного покрытия посредством электрического разряда в жидкости для определения влияния электрогидравлического эффекта [8]. Как было отмечено выше, одним из основных недостатков меди является снижение стойкости к атмосферной коррозии во влажных средах и при повышении температуры. Учитывая условия эксплуатации электротехнических контактов, сопровождающиеся протеканием коррозионно-электрохимических процессов, можно видеть, что одним из важнейших направлений повышения надежности изделий из меди и медных сплавов является повышение коррозионной стойкости. В настоящее время используются различные методы, включающие в себя пассивацию поверхности, нанесение защитных покрытий [9–11], ингибиторы коррозии [12]. Известны также некоторые другие технологические приемы, способствующие повышению надежности электрических контактов [13–15].

Одним из перспективных методов повышения коррозионной стойкости материалов является высокоэнергетическое, в том числе лазерное, воздействие [16–18], в результате которого происходит модификация поверхностного слоя материала. В связи с тем, что одним из определяющих свойств электротехнических изделий является удельное сопротивление, необходимо исследовать влияние изменения структуры и состава поверхности на величину контактного сопротивления.

Таким образом, цель работы – определение параметров короткоимпульсной лазерной обработки для повышения коррозионной стойкости меди и медных сплавов при сохранении значения контактного сопротивления.

### Объекты и методы исследования

Образцы представляли собой пластины площадью  $1 \text{ см}^2$  и толщиной 2 мм, изготовленные из меди со степенью чистоты 99,96% марки М0, латуни марок Л80 и Л96, бериллиевой бронзы марки БрБ2. Поверхность подвергали механической шлифовке, полировке, последующей промывке и обезжириванию этиловым спиртом в ультразвуковой ванне. Часть образцов была оставлена в исходном состоянии, что обеспечивало наличие на поверхности самопроизвольно образованного оксидно-гидроксидного слоя. Серия образцов подвергалась короткоимпульсной лазерной обработке с использованием оптоволоконного иттербиевого лазера с длиной волны 1,065 мкм, позволяющей в достаточно широких интервалах варьировать мощность излучения, частоту следования импульсов и скорость сканирования поверхности лазерным лучом. Обработка образцов осуществлялась в атмосфере воздуха и в контролируемой по составу газовой среде.

Все образцы исследовали путем снятия анодных потенциодинамических кривых в нейтральной среде боратного буферного раствора при  $\text{pH} = 7,4$  с использованием потенциостата EcoLab 2A-100. Растворы готовили на дистиллированной воде. Аэрация растворов естественная, температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Использовалась электрохимическая ячейка Э-7СФ. Электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный, относительно которого и приведены далее электродные потенциалы  $E$ , мВ в тексте и на рисунках. Скорость сканирования потенциала при снятии потенциодинамических кривых 2 мВ/с. Плотность тока  $I$  ( $\text{мкА}/\text{см}^2$ ) приведена в расчете на видимую (геометрическую) поверхность электрода.

### Результаты и их обсуждение

При проведении короткоимпульсной лазерной обработки варьировались следующие параметры: мощность лазерного излучения в диапазоне  $4,5 \div 33,7$  Вт, частота в диапазоне  $40 \div 100$  кГц, скорость сканирования поверхности в диапазоне  $500 \div 900$  мм/с. В ходе проведения электрохимических исследований было принято решение для серии образцов проводить катодную поляризацию, для снятия поверхностного слоя, образовавшегося в ходе хранения образцов. Для этого образцы помеща-

лись в раствор и выдерживались при постоянном значении потенциала в катодной области в течение некоторого времени. Влияние выдержки образцов при разных значениях потенциала будут показаны ниже.

На рис. 1 представлены потенциодинамические кривые для образцов меди в исходном состоянии, после лазерного воздействия, часть из которых подвергалась предварительной катодной поляризации. Представлена выборка из множества режимов, демонстрирующая наиболее значительные изменения.

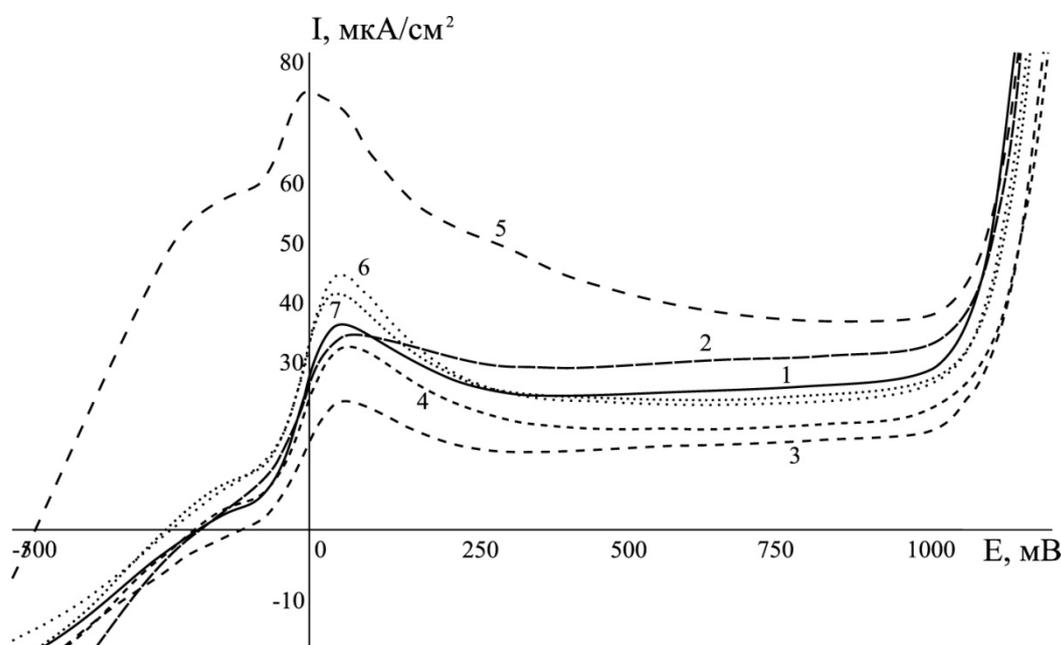


Рис. 1. Потенциодинамические кривые меди M0 в боратном буферном растворе: 1 – в исходном состоянии без предварительной катодной поляризации; 2 – в исходном состоянии с выдержкой при  $E = -1000$  мВ в течение 30 мин; 3, 4 – после лазерной обработки в атмосфере воздуха; 5 – после лазерной обработки в атмосфере воздуха с выдержкой при  $E = -1000$  мВ в течение 30 мин; 6, 7 – после лазерной обработки в среде аргона

В случае образцов в исходном состоянии выдержка при потенциале  $E = -1000$  мВ в течение 30 минут (кривая 2) дает заметное сглаживание анодной кривой, но при этом наблюдается увеличение токов в области пассивного состояния. После лазерной обработки выдержка при катодном потенциале (кривая 5) приводит к существенной активации поверхности образца, росту токов как в области условно активного

растворения, так и в области пассивации. Таким образом, в случае образцов меди предварительная катодная поляризация привела не только к снятию поверхностного слоя, но и способствовала значительной активации. Это дает возможность отрицательной оценки результатов такой обработки в сравнении с исходным состоянием.

В целом по представленным потенциодинамическим кривым на рис. 1 можно сделать вывод о том, что обработка лазером в среде инертного газа аргона не способствует повышению коррозионной стойкости. Это, вероятно, связано с недостаточным количеством кислорода для образования плотной оксидной пленки. Высокоэнергетическое воздействие в атмосфере воздуха приводит к уменьшению анодных токов в области пассивного состояния в 1,5–2 раза по сравнению с исходным состоянием. Значения потенциалов перепассивации для всех образцов практически равны и лежат в диапазоне 1100–1150 мВ. Наилучшие результаты получены для образца, обработанного в атмосфере воздуха при низком значении мощности лазерного излучения  $P = 4,5$  Вт, высокой скорости сканирования поверхности  $v = 900$  мм/с.

Исследовались электрохимические свойства марок латуни Л96 с содержанием цинка 4% и

Л80 с содержанием цинка не более 20%. Латунь Л96 характеризуется достаточно высоким значением электропроводности, значение удельного электросопротивления составляет 0,038 мкОм·м и широко применяется в электро-технической промышленности. Латунь марки Л80 была выбрана для исследования с целью определения влияния количества легирующего компонента на характеристики коррозионной стойкости и зависимость от высокоэнергетического воздействия.

На рис. 2 и рис. 3 показаны результаты электрохимических исследований латуни Л80 в боратном буферном растворе с выдержкой (рис. 2) и без выдержки (рис. 3) при катодном потенциале. Характер анодных кривых отличается от результатов для меди, что связано с большим содержанием цинка. Помимо стандартных пиков, характеризующих область условно активного растворения, наблюдаются размытые максимумы.

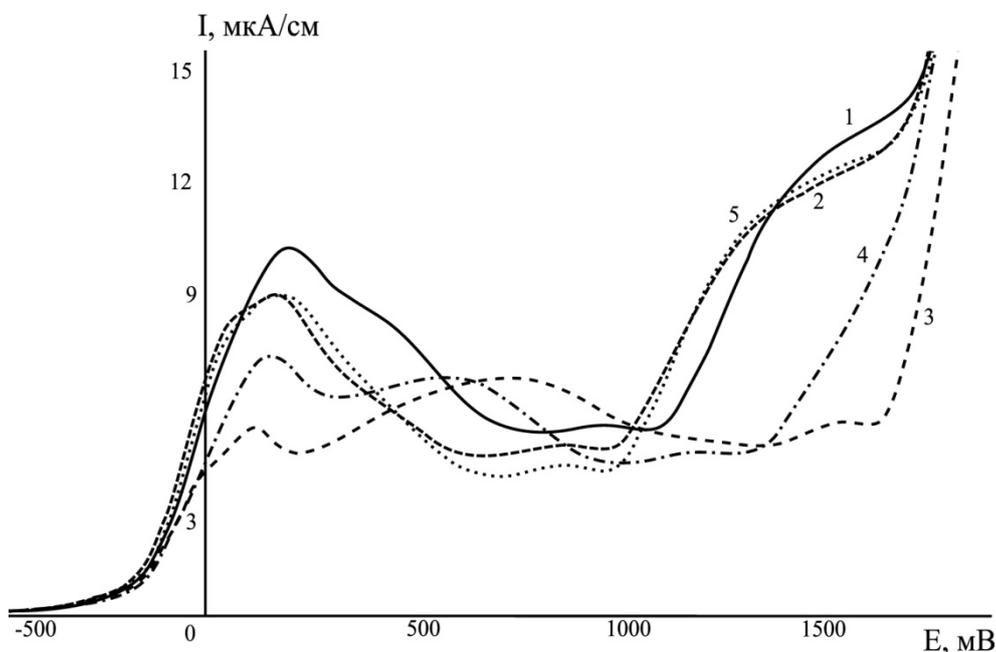


Рис. 2. Потенциодинамические кривые латуни Л80 в боратном буферном растворе с предварительной выдержкой при  $E = -1000$  мВ в течение 30 мин: 1 – в исходном состоянии; 2, 3 – после лазерной обработки в атмосфере воздуха; 4, 5 – после лазерной обработки в среде аргона

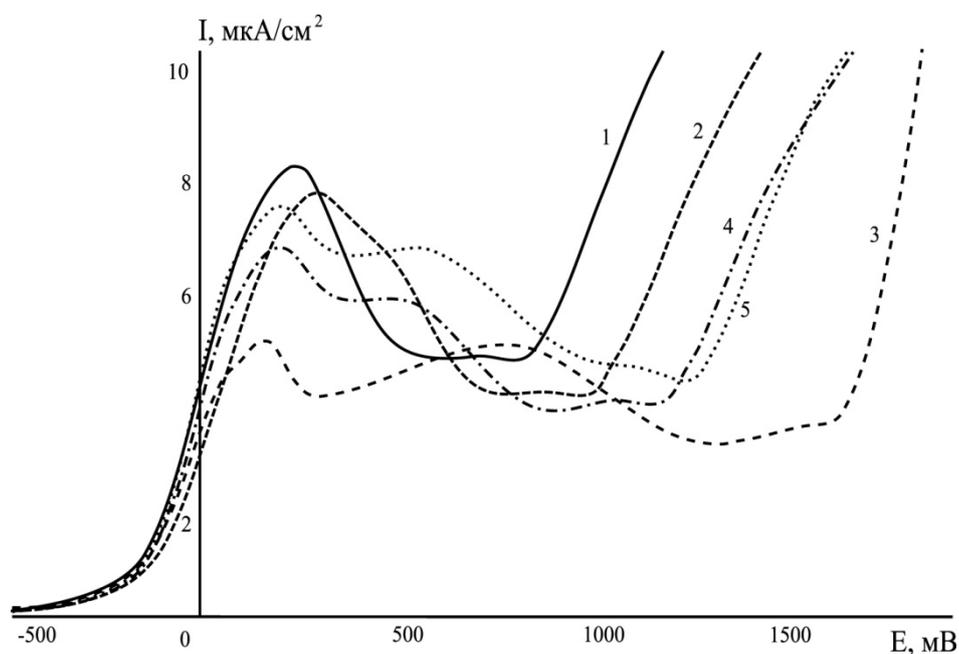


Рис. 3. Потенциодинамические кривые латуни Л80 в боратном буферном растворе: 1 – в исходном состоянии; 2, 3 – после лазерной обработки в атмосфере воздуха; 4, 5 – после лазерной обработки в среде аргона

Стоит также отметить изменяющийся характер кривых при проведении предварительной катодной выдержки. В первую очередь для всех образцов наблюдается некоторый рост анодных токов в области пассивного состояния. Это вероятно также, как и в случае с чистой медью, связано с процессом активации поверхности образцов. Можно наблюдать также изменение значений потенциалов перепассивации. Таким образом, можно сделать вывод, что предварительная длительная выдержка материалов при некотором постоянном значении катодного потенциала носит скорее негативный характер, усложняет процесс проведения эксперимента и не является необходимой. Последующие испытания проводились без нее.

На рис. 4 представлены потенциодинамические кривые для образцов латуни марки Л96 в исходном состоянии и после лазерного воздействия. Полученные потенциодинамические кривые в большей степени по характеру соот-

ветствуют кривым для чистой меди. Отметим, что относительно небольшое содержание цинка в составе сплава не оказывает существенного влияния на электрохимическое поведение образцов. Наряду с образцом, обработанным в атмосфере воздуха с параметрами, идентичными наилучшим для чистой меди  $P = 4,5$  Вт,  $v = 900$  мм/с (кривая 2), улучшение коррозионно-электрохимических свойств продемонстрировал образец, подвергнутый лазерному воздействию в среде аргона (кривая 4). В этом случае отличным параметром было значение мощности  $P = 30,5$  Вт. Такой характер кривых вновь можно связать с наличием цинка в составе сплава. Стоит отметить, что окончательные выводы можно будет сделать после проведения исследований структуры и состава получаемых поверхностных слоев.

На рис. 5 показаны результаты коррозионно-электрохимических исследований образцов бериллиевой бронзы марки БрБ2.

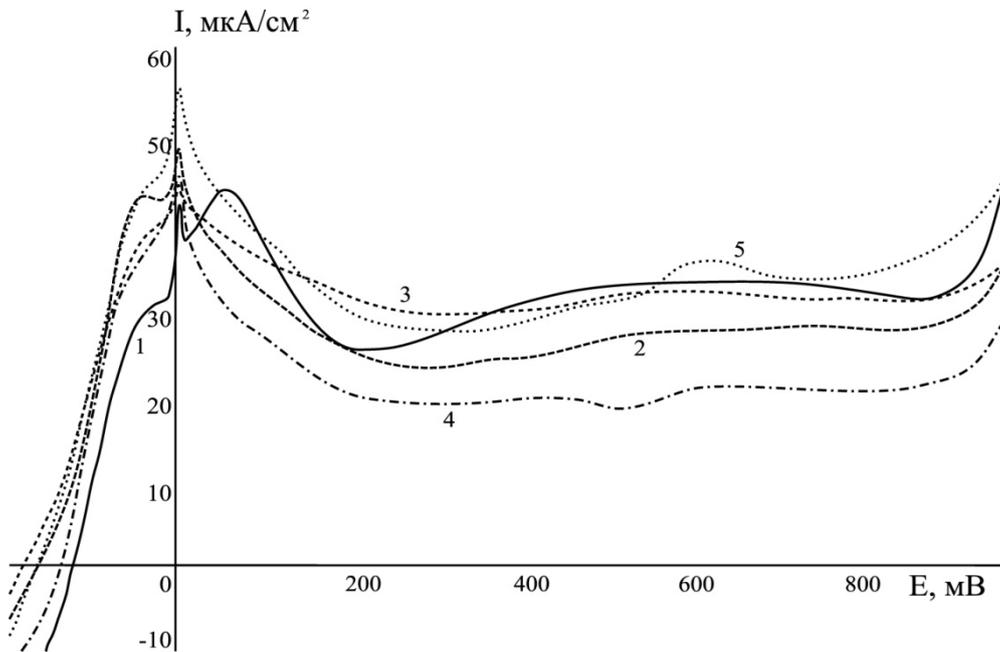


Рис. 4. Потенциодинамические кривые латуни Л96 в боратном буферном растворе: 1 – в исходном состоянии; 2, 3 – после лазерной обработки в атмосфере воздуха; 4, 5 – после лазерной обработки в среде аргона

Согласно полученным результатам, более заметное улучшение электрохимического поведения демонстрирует образец, подвергнутый лазерному воздействию с низким значением мощности лазерного излучения:  $P = 4,5$  Вт, вы-

сокой скоростью сканирования поверхности:  $v = 900$  мм/с, что аналогично чистой меди. Можно отметить, что небольшое содержание легирующего компонента вносит незначительный вклад в изменение поведения образцов.

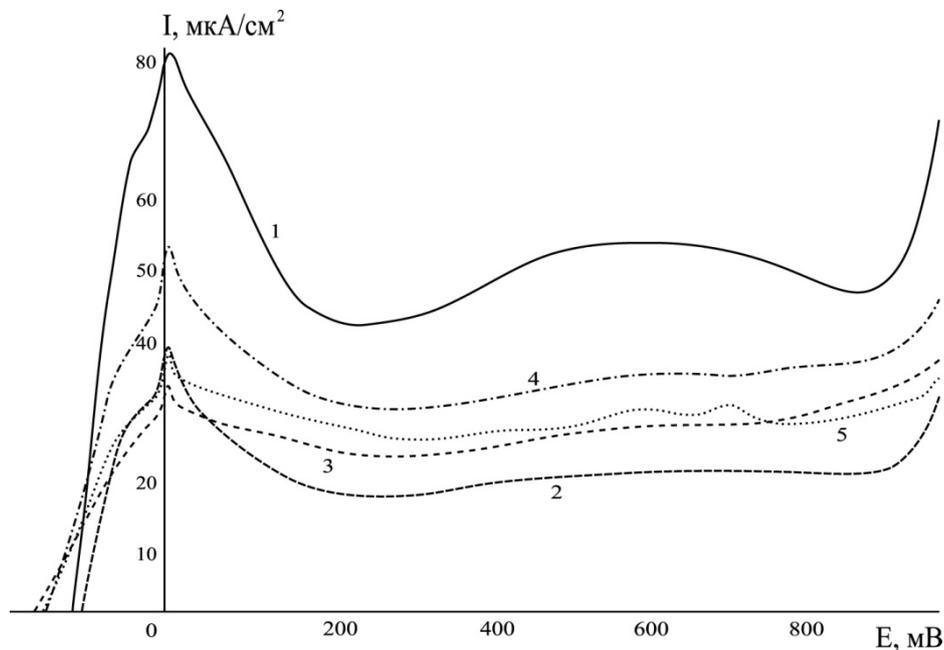


Рис. 5. Потенциодинамические кривые бронзы в боратном буферном растворе: 1 – в исходном состоянии; 2, 3 – после лазерной обработки в атмосфере воздуха; 4, 5 – после лазерной обработки в среде аргона

Важным этапом в ходе исследований также было определение контактного сопротивления образцов, подвергнутых лазерной обработке, для оценки влияния образующихся поверхностных слоев на возможность применения в качестве электрических контактов. Контактное сопротивление измерялось при помощи потенциостата по четырехэлектродной схеме. При этом при каждом измерении обеспечивались одинаковое усилие при сжатии в месте контакта и одинаковая видимая поверхность площади контактов. Для сравнения предварительно снимались значения для образцов в исходном со-

стоянии. Некоторые результаты полученных усредненных значений представлены в таблице

Таким образом, можно сделать вывод, что наблюдается изменение контактного сопротивления в зависимости от режима обработки. Одновременно с увеличением коррозионной стойкости поверхности электрических контактов, например, в релейных устройствах, можно при сохранении технических показателей добиться повышения надежности и долговечности работы элементов, которые весьма чувствительны к образованию продуктов коррозии с высоким омическим сопротивлением.

**Контактное сопротивление образцов в исходном состоянии и после лазерной обработки**

Материал	Режим обработки	Контактное сопротивление до/после обработки, Ом/см <sup>2</sup>
Медь	Мощность P = 4,5 Вт. Частота 100 кГц. Скорость v = 900. Воздух.	0,092432/0,037037
	Мощность P = 30,5 Вт. Частота 40 кГц. Скорость v = 900 мм/с. Аргон.	0,08737/0,034824
Латунь	Мощность P = 33,7 Вт. Частота 60 кГц. Скорость v = 700 мм/с. Воздух.	0,05357/0,024293
	Мощность P = 33,7 Вт. Частота 60 кГц. Скорость v = 700 мм/с. Аргон.	0,083921/0,020933

### Заключение

Таким образом, на основе изученных материалов о методах улучшения различных свойств меди и медных сплавов было предложено исследовать влияние высокоэнергетической лазерной обработки на коррозионно-электрохимическое поведение. Образцы чистой меди и сплавов с небольшим содержанием легирующих компонентов показали подобные результаты, характеризующиеся повышением коррозионной стойкости при обработке лазерным излучением с высоким значением скорости и низким значением мощности в атмосфере воздуха. Большое содержание компонентов приводит к существенному изменению харак-

тера анодных кривых, поведения обработанных образцов.

Определены величины контактного сопротивления. Влияние высокоэнергетического воздействия имеет неоднозначный характер. Для выявления зависимости данной характеристики от параметров лазерного излучения необходимы дальнейшие исследования состава и структуры образующихся поверхностных слоев на металле.

### Финансирование

Работа выполнена с использованием средств гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-1670.2022.4).

### Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам лаборатории физики и химии Института математики, информационных технологий и физики

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» и лично заведующему лабораторией, профессору, д.т.н. Евгению Викторовичу Харанжевскому.

### Список источников

1. Петрова Л.Г., Потапов М.А., Чудина О.В. Электротехнические материалы. М.: МАДИ (ГТУ), 2008. 198 с.
2. Евстифеев В.В., Корытов М.С. Электротехнические материалы, пластмассы, резины, композиты. Омск: СибАДИ, 2009, 36 с.
3. Тебякин А.В., Фоканов А.Н., Подуражная В.Ф. Многофункциональные медные сплавы // Труды ВИАМ. 2016. №12. С. 37–44.
4. Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Г.Ф., Лозиков И.А. Бронзы электротехнического назначения и особенности их производства // Вестник Белорусско-Российского университета. 2012. №3. С. 36–52.
5. Ри Э.Х., Дорофеев С.В., Живетьев А.С., и др. Влияние обучения жидкой фазы наносекундными электромагнитными импульсами на процессы кристаллизации и структурообразования, свойства меди и оловянистой бронзы // Литье и металлургия. 2012. №3. С. 136–139.
6. Коржов В.П. Модифицирование поверхности электрических контактов из сплава Cu-30% Cr // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 3. С. 943–944.
7. Кравченко О.В., Быстров В.П. Исследование влияния состава электролита на качество защитного покрытия на меди // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 3. С. 310–316.
8. Кравченко О.В., Быстров В.П., Кравченко Л.Л. Влияние физических методов воздействия на процесс пассивации меди // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №3. С. 317.
9. Тихомирова С.А., Григорян Н.С., Абрашов А.А., и др. Пассивация черных и цветных металлов // Успехи в химии и химической технологии. 2015. Т.29, № 3. С. 51–52.
10. Бурнышев И.Н., Валиахметова О.М., Лыс В.Ф. Многокомпонентное диффузионное насыщение медных сплавов // Химическая физика и мезоскопия. 2010. Т. 12, №4. С. 519–525.
11. Перинский В.В., Перинская И.В., Петрова Н.А. Методики ионно-лучевой защиты поверхности микроэлектронных изделий от внешних и химических воздействий, коррозии и локализации гальванического осадка // Технические науки – от теории к практике. 2013. № 20. С. 128–133.
12. Харина Г.В., Алешина Л.В., Шихалев И.А. Коррозионное поведение латуни в нейтральных и кислых хлорсодержащих средах // Наука, техника и образование. 2017. №2. С. 24–29.
13. Пьянков И.Б., Ерофеев В.А., Страхова Е.А. Критерии оценки условий эксплуатации электродов при контактной точечной сварке // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. Вып. 11. Ч. 2. С. 71–83.
14. Измайлов В.В., Новоселова М.В. Оценка ресурса электроконтактных материалов по результатам форсированных испытаний // Инновационная наука. 2016. №7–8. С. 40–42.
15. Дзекцер Н.Н., Морозов Ю.К., Стройман И.М. Повышение надежности электрических контактов // Видеонаука: сетевой журнал. 2017. № 2. URL: <https://videonauka.ru/stati/18-elektrotekhnika/132->

повышение-nadjozhnosti-elektricheskikh-kontaktov (дата обращения 12.12.2022).

16. *Борисова Е.М., Решетников С.М., Гильмутдинов Ф.З. и др.* Короткоимпульсная лазерная обработка алюминия как метод синтеза наноразмерных оксидных слоев // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тезисы докладов. 2016. С. 202.

17. *Шрон Л.Б., Ягьяев Э.Э. Абхаирова С.В. и др.* Повышение коррозионной стойкости сварных соединений из углеродистых сталей методом лазерной абляции // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2022. № 1–2. С. 48–52.

18. *Борисова Е.М., Решетников С.М., Гильмутдинов Ф.З. и др.* Влияние короткоимпульсной лазерной обработки на коррозионно-электрохимические свойства меди // От синтеза полиэтилена до стереодивергентности: развитие химии за 100 лет: материалы Междунар. науч.конф., посвящ. 100-летию кафедры органической химии ПГНИУ. Пермь: ПГНИУ, 2018. С. 218–221.

#### Информация об авторах

**Борисова Елена Михайловна**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики, Институт нефти и газа им. М.С. Гучериева, Удмуртский государственный университет» (426034, УР, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 7), borisovayelena@mail.ru

**Решетников Сергей Максимович**, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры фундаментальной и прикладной химии, Институт естественных наук, Удмуртский государственный университет (426034, Россия, УР, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 1.), smr41@mail.ru

**Фатхутдинова Алия Маратовна**, магистрант кафедры теплоэнергетики, Институт нефти и газа им. М.С. Гучериева, Удмуртский государственный университет (426034, Россия, УР, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 7), aliafatyhova@yandex.ru

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

*Поступила 15 ноября 2022 г; одобрена 1 декабря 2022 г; принята к публикации 7 декабря 2022 г.*

#### References

1. Petrova, L.G., Potapov, M.A. and Chudina, O.V. (2008) *Elektrotekhnicheskiye materialy* [Electrotechnical materials], Moscow. (In Russ.).

2. Evstifeev, V.V. and Korytov, M.S. (2009) *Elektrotekhnicheskiye materialy, plastmassy, reziny, kompozity* [Electrotechnical materials, plastics, rubbers, composites: textbook], Omsk. (In Russ.).

3. Tebekin, A.V., Fokanov, A.N. and Podurazhnaya, V.F. (2016) Multifunctional copper alloys, *Trudy VIAM*, no. 12, pp. 37–44. (In Russ.).

4. Lovshenko, F.G., Lovshenko, G.F. and Lozikov, I.A. (2012) Bronzes for electrical purposes and features of their production, *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo Universiteta*, no. 3, pp. 36–52. (In Russ.).

5. Ree, E.Kh., Dorofeev, S.V., Zhivetiev, A.S., Zhernova, T.S. and Knyazev, G.A. (2012) Influence of liquid phase training by nanosecond electromagnetic pulses on the processes of crystallization and structure formation, properties of copper and tin bronze, *Lit'e i metallurgiya*, no. 3, pp. 136–139. (In Russ.).

6. Korzhov, V.P. (2010) Modification of the surface of electrical contacts from Cu-30% Cr alloy, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, no. 3, pp. 943–944. (In Russ.).
7. Kravchenko, O.V. and Bystrov, V.P. (2014) Study of the effect of electrolyte composition on the quality of the protective coating on copper, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, no. 3, pp. 310–316. (In Russ.).
8. Kravchenko, O.V., Bystrov, V.P. and Kravchenko, L.L. (2014) Influence of physical methods of influence on the copper passivation process, *Gornyyi nformatsionno-analiticheskiy byulleten'*, no. 3. pp. 317–322. (In Russ.).
9. Tikhomirova, S.A., Grigoryan, N.S., Abrashov, A.A., Smirnov, K.N. and Vahramyan, T.A. (2015) Passivation of ferrous and non-ferrous metals, *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, vol. 29, no. 3, pp. 51–52. (In Russ.).
10. Burnyshev, I.N., Valiakhmetova, O.M. and Lys, V.F. (2010) Multicomponent diffusion saturation of copper alloys, *Chimicheskaya fizika i mesoscopya*, vol. 12, no. 4, pp. 519–525. (In Russ.).
11. Perinsky V.V., Perinskaya I.V. and Petrova, N.A. (2013) Techniques of ion-beam protection of the surface of microelectronic products from external and chemical influences, corrosion and localization of galvanic sediment, *Technicheskie nauki – ot teorii k praktike*, no. 20, pp. 128–133. (In Russ.).
12. Kharina, G.V., Aleshina, L.V. and Shikhalev, I.A. (2017) Corrosion behavior of brass in neutral and acidic chlorine-containing media, *Nauka, tehnika i obrazovanie*, no. 2, pp. 24–29. (In Russ.).
13. Pyankov, I.B., Erofeev, V.A. and Strakhova, E.A. (2016) Criteria for assessing the operating conditions of electrodes in contact spot welding, *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki*, no. 11, pp. 71–83. (In Russ.).
14. Izmailov, V.V. and Novoselova, M.V. (2016) Evaluation of the resource of electrical contact materials based on the results of forced tests, *Innovatsionnaya nauka*, no. 7–8, pp. 40–42. (In Russ.).
15. Dzektsler, N.N., Morozov, Yu.K. and Stroyman, I.M. (2017) Improving the reliability of electrical contacts, *Videonauka: setevoy zhurnal*, no. 2. Available at: <https://videonauka.ru/stati/18-elektrotekhnika/132-povyshenie-nadjozhnosti-elektricheskikh-kontaktov> (Accessed 12 December 2022).
16. Borisova, E.M., Reshetnikov, S.M., Gilmutdinov, F.Z., Bakieva, O.R. and Pavlova, A.Yu. (2016) Short-pulse laser processing of aluminum as a method for the synthesis of nanosized oxide layers, In: *Abstract of XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*, pp. 202. (in Russ.).
17. Shron, L.B., Yagyaev, E.E. Abkhairova, S.V. and Gumerov, A.K. (2022) Improving the corrosion resistance of welded joints from carbon steels by laser ablation, *Transport i chranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syriya*, no. 1–2, pp. 48–52. (In Russ.).
18. Borisova, E.M., Reshetnikov, S.M., Gilmutdinov, F.Z. and Kharanzhevsky, E.V. (2018) Influence of short-pulse laser treatment on the corrosion-electrochemical properties of copper, In: *Proceedings of the International Conference «From polyethylene synthesis to stereodivergence: development of chemistry over 100 years»*, pp. 218–221. (In Russ.).

#### Information about the authors

**Elena M. Borisova**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Thermal Power Engineering, Institute of Oil and Gas, Udmurt State University (1, Universitetskaya str., Izhevsk, Russia, 426034), <https://orcid.org/0000-0003-3492-7173>, [borisovayelena@mail.ru](mailto:borisovayelena@mail.ru)

**Sergei M. Reshetnikov**, Doctor of Chemistry Sciences, Professor, Professor of the Department of Fundamental and Applied Chemistry, Institute of Natural Sciences, Udmurt State University (1, Universitetskaya str., Izhevsk, Russia, 426034), [smr41@mail.ru](mailto:smr41@mail.ru)

**Aliya M. Fatkhutdinova**, student, Department of Thermal Power Engineering, Institute of Oil and Gas, Udmurt State University (1, Universitetskaya str., Izhevsk, Russia, 426034), [aliafatyhova@yandex.ru](mailto:aliafatyhova@yandex.ru).

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 15 November 2022; approved after reviewing 1 December 2022; accepted 7 December 2022.*

Научная статья

УДК 535.243+661.185.232

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>

## Влияние катамина АБ на комплексообразование скандия с пирокатехиновым фиолетовым

Денисова Светлана Александровна<sup>1</sup>, Заболотных Светлана Александровна<sup>1,2</sup>, Голдобина Татьяна Ивановна<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

<sup>2</sup>«Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Россия

**Аннотация.** Рассмотрены закономерности комплексообразования скандия с пирокатехиновым фиолетовым в присутствии катионогенного поверхностно-активного вещества катамина АБ в водных растворах. Определен оптимальный интервал рН комплексообразования скандия с реагентом в системах с катамином АБ и без него. Сняты спектры светопоглощения пирокатехинового фиолетового и его комплексов со скандием в двойной системе и в присутствии катамина АБ при различных значениях рН и концентрации ПАВ. Методами насыщения и изомольярных серий установлено соотношение иона металла и реагента в образующемся комплексе в двойной и тройной системах. Построены градуировочные графики, рассчитаны коэффициенты молярного светопоглощения, методом Бабко определены условные константы устойчивости комплексов скандия с пирокатехиновым фиолетовым.

**Ключевые слова:** пирокатехиновый фиолетовый; скандий; катамин АБ; спектрофотометрия; комплексообразование.

**Для цитирования:** Денисова С.А., Заболотных С.А., Голдобина Т.И. Влияние катамина АБ на комплексообразование скандия с пирокатехиновым фиолетовым// Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2022. Т. 12, № 4. С. 221–230. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>

## The influence of catamine AB on complexation scandium with pyrocatechin violet

Svetlana A. Denisova<sup>1</sup>, Svetlana A. Zabolotnykh<sup>1,2</sup>, Tatyana I. Goldobina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

**Abstract.** Regularities of the complex formation of scandium with catechol violet in the presence of the cationic surfactant catamine AB in aqueous solutions are considered. The optimum pH interval of scandium complexation with the reagent in systems with and without catamine AB has been determined. The absorption spectra of pyrocatechin violet and its complexes with scandium in the double system and in the catamine AB presence at different pH values and surfactant concentrations were taken. The ratio of metal ion and reagent in the forming complex in double and triple systems has been established by methods of saturation and isomolar series. Calibration graphs were constructed, molar light absorption coefficients were calculated, and conditional stability constants of scandium complexes with pyrocatechin violet were determined by the Babko method.

**Key words:** pyrocatechin violet; scandium; catamine AB; spectrophotometry; complexation

**For citation:** Denisova, S.A., Zabolotnykh, S.A. and Goldobina, T.I. (2022) “The influence of catamine AB on complexation scandium with pyrocatechin violet”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, no. 4, pp. 221–230. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-4-221-230>.



Введение поверхностно-активных веществ может приводить к улучшению оптических характеристик цветных реакций ионов металлов с органическими красителями. При этом может почти полностью устраняться влияние светопоглощения самих реагентов за счет высокой контрастности  $\Delta\lambda = 100\text{--}200$  нм, резко возрастает чувствительность определений  $\epsilon = (1\text{--}2,5) \cdot 10^5$ . Наличие узких, хорошо разрешенных полос светопоглощения продуктов реакции обеспечивает высокую точность определений [1]. Рядом авторов [2, 3] показано, что в присутствии ПАВ увеличивается координационное число комплексообразователя, а иногда катионы ПАВ входят в состав комплексов, замещая молекулы воды. Следовательно, изучение химизма процессов взаимодействия в системах ионы металлов – органический реагент – ПАВ и выявление причин их протекания имеет не только научное, но и большое практическое значение.

В присутствии ПАВ наблюдается характерное изменение спектров реагентов и их комплексов с ионами металлов, характеризующееся батохромным смещением длины волны максимального светопоглощения и гиперхромным эффектом длинноволновой полосы поглощения, что свидетельствует о взаимодействии компонентов. Изучение влияния ПАВ разной концентрации на такое взаимодействие показало, что указанные эффекты наблюдаются при концентрациях ПАВ значительно ниже предела растворимости (так называемой *критической концентрации мицеллообразования* или *ККМ*). По мере увеличения концентрации ПАВ до ККМ и более эффекты, связанные с изменением спектра реагентов, убывают. На основании

этого авторы работы [4] делают заключение о том, что батохромное смещение спектров поглощения реагентов обусловлено действием не мицелл, а отдельных молекул ПАВ. Мицеллы же в ряде случаев разрушают окраску продуктов взаимодействия из-за блокирования реакционных центров реагентов.

Действие ионов ПАВ на аналитические системы и процессы основано на нескольких принципах. Как правило, его связывают с образованием в растворе нейтральных гидрофобно-гидратированных ионных ассоциатов реагент (хелат) – ПАВ. Именно изменение преимущественно гидрофильного типа гидратации как реагента, так и иона металла на гидрофобный при образовании хелатного ассоциата является причиной увеличения чувствительности и селективности определений и лежит в основе механизма действия ионов ПАВ на аналитические фотометрические реакции. В работе [5] показано, что в присутствии КПАВ наблюдается увеличение числа координируемых ионом металла лигандов; сдвиг интервала рН комплексообразования в более кислую область; увеличение устойчивости хелатов в водном растворе; многоцентровое взаимодействие в системе  $\text{Me-R-PAV}$ .

Литературные данные по комплексообразованию в системах ион металла – хромофорный органический реагент – азотсодержащий лиганд свидетельствуют о том, что длинноцепочечные четвертичные аммониевые и пиридиновые основания являются эффективными модификаторами таких систем. Большинство накопленных к настоящему времени данных по изучению влияния КПАВ на растворы хромофорных реагентов касается использования индивидуальных ПАВ: хлоридов и бромидов цетилпи-

ридиния (ЦП), цетилтриметиламмония (ЦТА) и других [6–8]. Например, добавление соли цетилпиридиния приводит к батохромному смещению полосы поглощения комплекса алюминия с пирокатехиновым фиолетовым (ПКФ) ( $\Delta\lambda = 150$  нм) с одновременным ростом оптической плотности ( $\varepsilon = 6,5 \cdot 10^4$ ) [9]. Однако в последние годы установлено, что для модифицирования цветных реакций с некоторыми органическими красителями (хромазуролом S, эриохромцианином R, ксиленоловым оранжевым) можно использовать промышленно-выпускаемое КПАВ – катамин АБ [10–12], так же относящееся к четвертичным аммониевым основаниям. Пирокатехиновый фиолетовый в присутствии ЦП образует с ионами металлов третьей группы периодической системы интенсивно окрашенные в синий цвет комплексы [9]. Поэтому целью данной работы является изучение закономерностей комплексообразования пирокатехинового фиолетового с ионами скандия в присутствии катамина АБ.

#### Объекты и методы исследования

В работе использовали алкилбензилдиметиламмоний хлорид (катамин АБ, ТУ 9392-113-68194079-2016) – катионное поверхностно-активное вещество, общая формула  $[C_nH_{2n+1}N^+(CH_3)_2CH_2C_6H_5]Cl^-$ , где  $n = 10–18$ , основное вещество – 50,0%. Раствор с концентрацией 1,3 моль/л готовили растворением точной навески, растворы с содержанием КПАВ 0,13, 0,013 и 0,0013 моль/л готовили соответствующим разбавлением.

Пирокатехиновый фиолетовый (ПКФ,  $C_{19}H_{14}O_7S$ , 386,38 г/моль), использовали в виде 0,03% ( $9,3 \cdot 10^{-4}$  моль/л) водного раствора.

Раствор Sc(III) с концентрацией 0,1 моль/л готовили, растворяя навеску нитрата скандия

Sc(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> квалификации ч.д.а. в 0,1 моль/л азотной кислоты. Концентрацию полученного раствора устанавливали комплексометрически. Растворы  $7 \cdot 10^{-3}$ ,  $7 \cdot 10^{-4}$  моль/л получали соответствующим разбавлением.

Ацетатно-аммиачные буферные растворы с различными значениями рН готовили смешением соответствующих объемов 5 моль/л растворов уксусной кислоты и аммиака.

Для выяснения оптимального интервала рН комплексообразования на спектрофотометре СФ-2000 в кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см регистрировали спектры светопоглощения водных растворов красителя и его комплексов со скандием при различных значениях рН в присутствии ПАВ и без него. Для этого в мерные колбы на 25 мл вводили 4 мл  $9,3 \cdot 10^{-4}$  моль/л раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора с выбранным значением рН и 0,5 мл 314,7 мкг/мл раствора Sc(III). При изучении комплексообразования в присутствии ПАВ вводили 1 мл раствора катамина АБ с различной концентрацией.

Коэффициенты молярного светопоглощения ( $\varepsilon$ ) систем рассчитывались по градуировочным графикам. В мерные колбы на 25 мл вносили 4 мл  $9,3 \cdot 10^{-4}$  моль/л раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора с рН 5,80, соответствующее количество раствора скандия (от 0,25 до 3,5 мл) с концентрацией 62,94 мкг/мл, 1 мл 0,13 моль/л раствора катамина АБ и доводили дистиллированной водой до метки. Полученные растворы фотометрировали через 20 минут после сливания на фоне реагента в кюветах на 1 см, на спектрофотометре ЮНИКО 1201.

Для определения констант устойчивости комплекса скандия с ПКФ в двойной системе в мерную колбу на 25 мл вводили 1,8 мл  $9,3 \cdot 10^{-4}$

моль/л раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора с рН 5,80, 2,4 мл 62,94 мкг/мл раствора скандия и доводили до метки дистиллированной водой.

В случае тройной системы в мерную колбу на 25 мл вводили 2,7 мл раствора ПКФ, 3 мл буферного раствора рН 5,80, 1,8 мл того же раствора ионов скандия, 1 мл 0,13 моль/л раствора катамина АБ и доводили до метки дистиллированной водой. Затем брали аликвоту полученного раствора и разбавляли в мерных колбах на 25 мл в 2 и 5 раз. Фотометрировали исходный раствор в кювете толщиной 1 см, разбавленный в 2 раза раствор – в кювете толщиной 2 см, разбавленный в 5 раз – 5 см при 614 нм (без ПАВ) и 650 нм (с ПАВ) на фоне воды.

Расчет условных констант устойчивости комплекса вели методом разбавления Бабко по формулам:

$$\beta'_{MR_n} = \frac{\left( \frac{1}{q^{n+1}} - 1 \right)^{n+1}}{C_M^n n^n} \cdot \frac{\Delta}{100}, \quad \Delta = \frac{A - A_q}{A},$$

где  $q$  – разбавление,  $n$  – стехиометрический коэффициент,  $C_M$  – концентрация металла в растворе,  $\Delta$  – отклонение от основного закона светопоглощения вследствие диссоциации комплекса,  $A$  и  $A_q$  – оптические плотности исходного и разбавленного растворов [13].

### Результаты и их обсуждение

По результатам визуальной оценки изменения окраски раствора ПКФ и его комплексов с ионами скандия при различных значениях рН установлено, что наибольшая контрастность в системе ПКФ – Sc наблюдается в области рН, близкой к 6,0. Введение катамина АБ приводит к увеличению контрастности в окраске ком-

плексов и красителя в интервале рН 5,80–6,80. В более кислой среде комплексообразование практически отсутствует и окраска ПКФ и его растворов в присутствии скандия практически одинакова как при введении катамина АБ, так и без него.

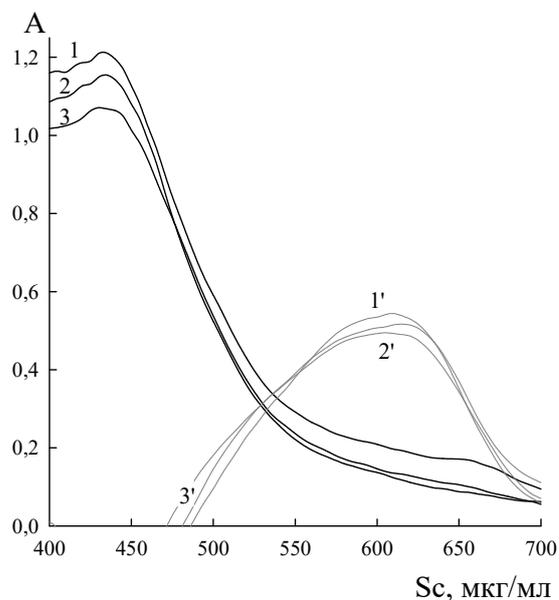


Рис. 1. Спектры поглощения водных растворов ПКФ (1–3, на фоне воды) и его комплексов со Sc(III) (1'–3', на фоне реагента) при различных рН: 1, 1' – 5,80; 2, 2' – 5,09; 3, 3' – 6,35

При различных значениях рН сняты спектры светопоглощения ПКФ и его комплексов с ионами скандия в двойной системе (рис. 1). На спектрах поглощения растворов ПКФ в интервале рН 5,80–6,35 наблюдается один максимум в области 430–433 нм. Оптические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием, снятых на фоне красителя при различных значениях рН представлены в табл. 1. Исследования показали, что оптимальные условия для комплексообразования ПКФ со скандием в двойной системе находятся в интервале рН 6,0–6,4,  $\lambda_{\max}$  наблюдается при 604–614 нм. Контрастность реакции составляет 180–190 нм.

Таблица 1

**Спектрофотометрические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием в зависимости от рН**  
( $C_{ПКФ} = 1,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $C_{Sc} = 1,4 \cdot 10^{-4}$  моль/л)

Система	ПКФ		ПКФ – Sc			
	на фоне воды		на фоне реагента			
рН	$\lambda_{max}$ , нм	$A_{\lambda_{max}}$	$\lambda_{max}$ , нм	$A_{\lambda_{max}}$	$\lambda_{max}$ , нм	$A_{\lambda_{max}}$
5,09	434,0	1,1566	604,0	0,6235	604,0	0,4947
5,80	430,9	1,1075	610,5	0,6115	610,5	0,4524
6,06	434,0	1,1664	611,1	0,7385	624,1	0,5517
6,35	433,0	1,2134	593,1	0,7104	614,1	0,5468
6,41	433,0	1,1815	593,1	0,7424	614,1	0,5540

Оптические характеристики комплексов скандия с ПКФ, полученные в присутствии катамина АБ (рис. 2, табл. 2), свидетельствуют о батохромных сдвигах  $\lambda_{max}$  комплексов, увеличивающих контрастность реакции до 234 нм (при рН 5,80). При рН 5,09 окраска комплекса не отличается от окраски красителя. Почти двукратное увеличение светопоглощения комплекса по сравнению с двойной системой наблюдается при рН 5,80. В связи с этим дальнейшие исследования проводили в присутствии 3 мл ацетатно-аммиачной буферной смеси с рН 5,80.

Известно, что на спектрофотометрические реакции существенное влияние оказывает количество введенного ПАВ. Как видно из табл. 3, при рН 5,80 в присутствии различных концентраций катамина АБ также присутствует максимум светопоглощения в интервале 430–433 нм. С увеличением концентрации катамина

АБ интенсивность светопоглощения реагента уменьшается.

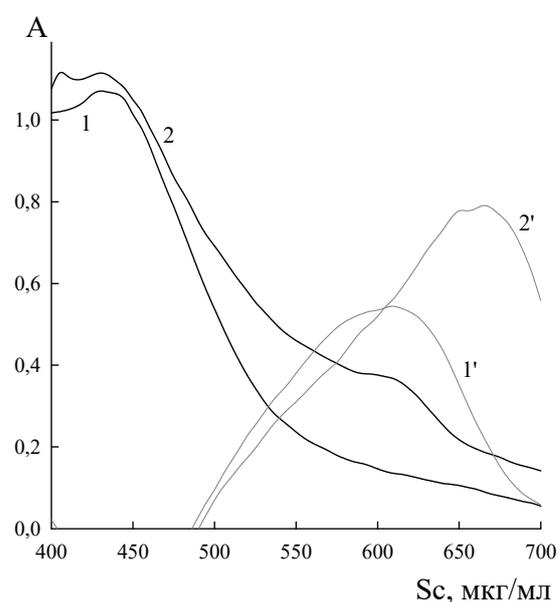


Рис. 2. Спектры поглощения водных растворов ПКФ (1 и 2, на фоне воды) и его комплексов со Sc(III) (1' и 2', на фоне реагента) при рН = 5,80:

1, 1' – без катамина АБ;

2, 2' –  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л катамина АБ

Таблица 2

**Оптические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием в присутствии катамина АБ при различных значениях рН** ( $C_{ПКФ} = 1,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $C_{Sc} = 1,4 \cdot 10^{-4}$  моль/л)

Система	ПКФ – катамин АБ		ПКФ – Sc – катамин АБ			
	на фоне воды		на фоне реагента и ПАВ			
рН	$\lambda_{max}$ , нм	$A_{\lambda_{max}}$	$\lambda_{max}$ , нм	$A_{\lambda_{max}}$	$\lambda_{max}$ , нм	$A_{\lambda_{max}}$
5,09	396,8	1,2927	433,2	1,2078	-	-
5,80	433,0	1,2761	651,0	1,2235	667,1	1,0598
6,06	427,0	1,2691	629,1	1,0390	651,2	0,7688
6,35	430,0	1,5188	641,1	0,9789	653,2	0,5005
6,41	402,0	1,2855	640,1	1,0204	655,2	0,6958
6,80	611,5	0,8338	646,4	1,1094	664,4	0,6832
8,05	609,0	1,2015	629,3	1,2895	665,3	0,6958

Сравнительный анализ спектров поглощения ПКФ и его комплексов со скандием в зависимости от концентрации катамина АБ показал, что наиболее высокая интенсивность светопоглощения комплексов, снятых на фоне красителя, наблюдается при концентрации ПАВ  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Введение катамина АБ в растворы ПКФ и его комплексов со скандием не

сопровождается выделением осадков и помутнением растворов.

В присутствии даже невысоких концентраций катамина АБ на спектрах светопоглощения комплексов наблюдаются батохромные сдвиги, при этом максимальное смещение  $\lambda_{\max}$  также происходит при концентрации ПАВ  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

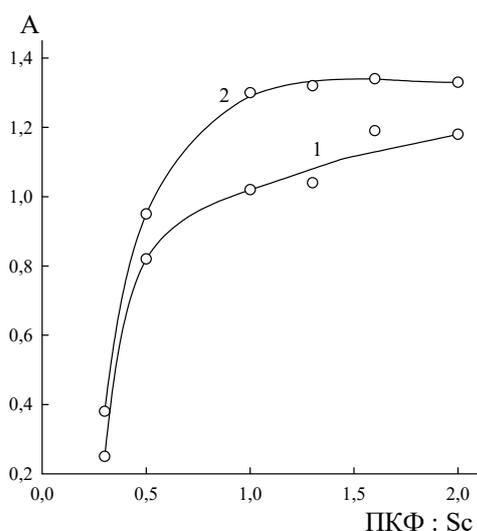
Таблица 3

**Спектрофотометрические характеристики ПКФ и его комплексов со скандием в зависимости от концентрации катамина АБ ( $C_{\text{ПКФ}}=1,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л,  $C_{\text{Sc}}=1,4 \cdot 10^{-4}$  моль/л; pH 5,80)**

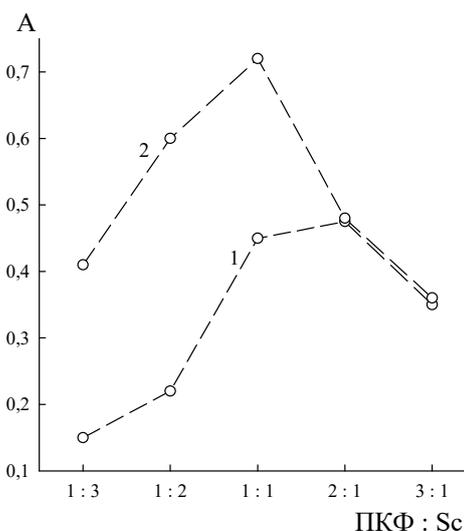
Система $C_{\text{Кат}}$ , моль/л	ПКФ – катамин АБ		ПКФ – Sc – катамин АБ			
	на фоне воды				на фоне реагента	
	$\lambda_{\max}$ , нм	$A_{\lambda_{\max}}$	$\lambda_{\max}$ , нм	$A_{\lambda_{\max}}$	$\lambda_{\max}$ , нм	$A_{\lambda_{\max}}$
$5,2 \cdot 10^{-2}$	432,0	1,1793	626,5	0,8179	640,5	0,5581
$5,2 \cdot 10^{-3}$	433,0	1,2761	651,0	1,2235	667,1	1,0252
$2,6 \cdot 10^{-3}$	433,8	1,3874	650,0	1,2335	653,0	0,8080
$5,2 \cdot 10^{-4}$	434,0	1,7300	659,0	0,9935	668,0	0,9775
$5,2 \cdot 10^{-5}$	433,0	1,2949	617,0	0,7315	623,2	0,7292
без катамина АБ	430,9	1,1075	610,5	0,6115	610,5	0,4524

При pH 5,80 и  $C_{\text{кат}} = 5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л изучено развитие окраски комплексов скандия с ПКФ во времени в двойной системе и в присутствии катамина АБ. Установлено, что значения оптической плотности как двойных, так и тройных комплексов достигают максимума и остаются

стабильными через 30 минут после сливания компонентов. Для изучения закономерностей комплексообразования методами насыщения и изомолярных серий (рис. 3) установлены соотношения ПКФ : Sc в двойной системе и в присутствии катамина АБ.



а



б

Рис. 3. Определение соотношения ПКФ : Sc методом насыщения (а) и изомолярных серий (б):  
1 – без катамина АБ, 2 –  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л катамина АБ

Согласно полученным данным комплексообразование скандия с ПКФ при  $\text{pH} = 5,80$  в двойной системе происходит ступенчато, образуются комплексы состава Sc:ПКФ с соотношением 1:1 и 1:2. При нахождении соотношения Sc : ПКФ в тройных комплексах концентрацию катамина АБ поддерживали постоянной –  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. При изучении комплексообразования в присутствии ПАВ оба метода показали на соотношение Sc : ПКФ в комплексах 1:1.

При оптимальных условиях для каждой системы построены градуировочные графики (рис. 4). Соответствующие уравнения прямых, полученные методом наименьших квадратов [14], представлены в табл. 4.

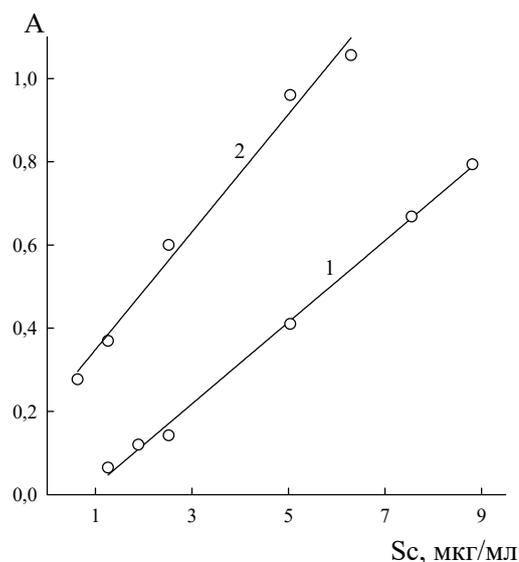


Рис. 4. Градуировочные графики:

1 – без катамина АБ, 2 –  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л катамина АБ  
( $C_{\text{ПКФ}} = 1,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л;  $\lambda_1 = 614$  нм,  $\lambda_2 = 650$  нм,)

Таблица 4

Оптические характеристики комплексов систем ПКФ – Sc и ПКФ – Sc – катамин АБ

Система	$\lambda$ , нм	Sc:ПКФ	Уравнение градуировочного графика	$R^2$	$\varepsilon$	$\beta'$
ПКФ – Sc	614	1 : 2	$A = 0,0985 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0754$	0,9961	$4,85 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^6$
ПКФ – Sc – катамин АБ	650	1 : 1	$A = 0,142 \cdot C_{\text{Sc}} + 0,2098$	0,9889	$1,55 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{10}$

По градуировочным графикам рассчитаны коэффициенты молярного светопоглощения комплексов в двойной и тройной системах. Методом Бабко определены условные константы устойчивости комплексов. Результаты расчетов коэффициентов молярного светопоглощения  $\varepsilon$  и констант устойчивости комплексов скандия с ПКФ обобщены в табл. 4.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что введение катамина АБ в любых концентрациях в систему Sc – ПКФ положительно влияет на оптические характеристики образующихся комплексов. На спектрах комплексов ионов скандия с ПКФ в присутствии КПАВ наблюдается батохромный сдвиг максимума

светопоглощения, увеличивающий контрастность реакции от 180–190 нм до 234 нм. В двойной системе обнаружены комплексы с соотношением Sc:ПКФ = 1:1 и 1:2, в присутствии катамина АБ образуется комплекс с соотношением компонентов 1:1, обладающий более высокими значениями константы устойчивости и молярного коэффициента светопоглощения, в сравнении с двойной системой. Оптимальный интервал pH комплексообразования Sc с ПКФ в двойной системе лежит в области 6,0–6,4, в присутствии катамина АБ комплексообразование незначительно смещается в более кислую область – до 5,7–5,9. Максимальное улучшение спектрофотометрических характеристик происходит при концентрации ПАВ  $5,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

### Список источников

1. Саввин С.Б., Маров И.Н., Чернова Р.К., Штыков С.Н., Соколов А.Б. Электростатические и гидрофобные эффекты при образовании ассоциатов органических реагентов с катионными ПАВ // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 5. С. 850–859.
2. Ребиндер П.А. Поверхностно-активные вещества и их применение // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1959. Т. 4, № 5. С. 544–555.
3. Штыков С.Н., Горячева И.Ю., Штыкова Л.С. Мицеллы и микроэмульсии в разделении и концентрировании // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58, № 7. С. 732–733.
4. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Белоусова В.В. О механизме действия катионных поверхностно-активных веществ в системах органический реагент – ион металла – ПАВ // Журнал аналитической химии. 1978. Т. 33, № 8. С. 1473–1480.
5. Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, № 7. С. 679–686.
6. Альбота Л.А. Влияние поверхностно-активных веществ на 1-(2-пиридилазо)-2-нафтол // Журнал аналитической химии. 1985. Т. 40, № 6. С. 978–984.
7. Иванов В.М., Кочелаева Г.А. Пирокатахиновый фиолетовый в спектрофотометрических и новых оптических методах // Успехи химии. 2006. Т. 75, № 3. С. 283–296.
8. Смирнова Т.Д., Чернова Р.К., Штыков С.Н. Синтез и изучение физико-химических свойств комплекса германия (IV) с пирокатахиновым фиолетовым и хлоридом цетилпиридиния // Журнал неорганической химии. 1983. Т. 28, №11. С. 2814–2824.
9. Тихонова В.Н., Павлова О.К. Трехкомпонентные комплексы алюминия, галлия, индия, скандия, тория с пирокатахиновым фиолетовым и цетилтриметиламмонием // Журнал аналитической химии. 1982. Т. 37, № 10. С. 1809–1815.
10. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние ПАВ различной природы на спектрофотометрические характеристики комплексов лантана с арсеназо III // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, вып. 4. С. 412–419.
11. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние катамина АБ на комплексообразование лантана и тулия с ксиленоловым оранжевым // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, вып. 1. С. 28–38.
12. Драчев А.М., Денисова С.А., Леснов А.Е. Комплексообразование эриохромцианина R<sub>c</sub> ионами алюминия и железа (III) в присутствии ПАВ // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2021. Т. 11, вып. 2. С. 114–125.
13. Бабко А.К., Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В., Рябушко О.П. Физико-химические методы анализа. М.: Высшая школа, 1968. 335 с.
14. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

### Информация об авторах

**Денисова Светлана Александровна**, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), <https://orcid.org/0000-0002-5229-6144>, [sw.denisova@yandex.ru](mailto:sw.denisova@yandex.ru)

**Заболотных Светлана Александровна**, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15); научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов, «Институт технической химии УрО РАН» (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), <https://orcid.org/0000-0001-8307-0386>, [zabolotsveta@mail.ru](mailto:zabolotsveta@mail.ru)

**Голдобина Татьяна Ивановна**, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15).

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 10 ноября 2022 г; одобрена 1 декабря 2022 г; принята к публикации 7 декабря 2022 г.

### References

1. Savvin, S.B., Marov, I.N., Chernova, R.K., Shtykov, S.N. and Sokolov, A.B. (1981) Electrostatic and hydrophobic effects in the formation of associates of organic reagents with cationic surfactants, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 5, pp. 850–859 (In Russ.).
2. Rehbinder, P.A. (1959) Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva i ikh primeneniye [Surface-active substances and their application], *Zhurnal Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva*, vol. 4, no. 5, pp. 544–555.
3. Shtykov, S.N., Goryacheva, I. Yu. and Shtykova, L.S. (2003) “Micelles and microemulsions in separation and preconcentration”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 58, no. 7, pp. 732–733 (In Russ.).
4. Savvin, S.B., Chernova, R.K., and Belousova, V.V. (1978) O the mechanism of action of cationic surfactants in the systems of organic reagent – metal ion – surfactant, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 33, no. 8, pp. 1473–1480 (In Russ.).
5. Shtykov, S.N. (2000), “Surfactants in analysis: Progress and development trends”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 55, no. 7, pp. 679–686 (In Russ.).
6. Albota, L.A. (1985) Effect of surfactants on 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 40, no. 6, pp. 978–984 (In Russ.).
7. Ivanov, V.M. and Kochelayeva, G.A. (2006) “Pyrocatechol violet in spectrophotometric and novel optical methods”, *Russian Chemical Reviews*, vol. 75, no. 3, pp. 255–266 (In Russ.).
8. Smirnova, T.D., Chernova, R.K. and Shtykov, S.N. (1983) Synthesis and study of physical and chemical properties of germanium (IV) complex with pyrocatechin violet and cetylpyridinium chloride, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 28, no. 11, pp. 2814–2824 (In Russ.).

9. Tikhonova, V.N. and Pavlova, O.K. Tricomponent complexes of aluminum, gallium, indium, scandium, and thorium with pyrocatechin violet and cetyltrimethylammonium, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 37, no. 10, pp. 1809–1815 (In Russ.).

10. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2018) “Influence of various nature surfactants on spectrophotometric characteristics of the lanthan complex with arsenazo III”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 4, pp.412–419 (In Russ.).

11. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2019) “Effect of surfactant different nature on spectrophotometric characteristics of the scandium complex with xylenol orange”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp.28–38 (In Russ.).

12. Drachev, A.M., Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2021) “Chemistry complexation of eriochromcyanine R with aluminum and iron (III) ions in the presence of surfactants”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 11, no. 2, pp.114–125 (In Russ.).

13. Babko, A.K., Pilipenko, A.T., Pyatnitsky, I.V. and Ryabushko, O.P. (1968) *Fiziko-khimicheskiye metody analiza* [Physico-chemical methods of analysis], High School, Moscow (In Russ.).

14. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance to photometric methods analysis], Chimia, Leningrad (In Russ.).

#### Information about the authors

**Svetlana A. Denisova**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate professor, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva str., Perm, Russia, 614990), <https://orcid.org/0000-0002-5229-6144>, [sw.denisova@yandex.ru](mailto:sw.denisova@yandex.ru)

**Svetlana A. Zabolotnykh**, Candidate of Chemistry Sciences, Senior lecturer, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva str., Perm, Russia, 614990); Researcher, Laboratory of organic complexing reagents, Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (3, Koroleva str., Perm, Russia, 614013), <https://orcid.org/0000-0001-8307-0386>, [zabolotsveta@mail.ru](mailto:zabolotsveta@mail.ru)

**Tatiana I. Goldobina**, Student, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva str., Perm, Russia, 614990).

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 10 November 2022; approved after reviewing 1 December 2022; accepted 7 December 2022.*

## Правила оформления и предоставления рукописей статей в журнал «Вестник Пермского университета. Серия «Химия»

### Общие положения

Научный журнал «Вестник Пермского университета. Серия «Химия» публикует результаты оригинальных исследований и научные обзоры по основным направлениям химии на русском и английском языках, в том числе по:

- физико-химическому анализу водно-органических и водно-солевых систем;
- физико-химическим основам получения новых материалов;
- направленному синтезу синтез органических соединений, обладающих различными свойствами;
- процессам комплексообразования ионов металлов с органическими лигандами и применению комплексных соединений в процессах разделения и концентрирования;
- электрохимическим процессам и процессам защиты от коррозии.

Обзорные статьи публикуются только после предварительного согласования тематики с Редакцией журнала. Запросы для написания обзоров просьба направлять на электронную почту [chemvestnik@yandex.ru](mailto:chemvestnik@yandex.ru).

Опубликованные материалы, а также материалы, представленные для публикации в других журналах, в том числе на других языках, к рассмотрению не принимаются. Все поступающие рукописи проходят обязательную проверку на некорректные заимствования в системе «Антиплагиат», результаты проверки направляются рецензентам по их запросу. Статьи, оформленные с нарушением настоящих правил, возвращаются авторам без рассмотрения по существу.

Статьи, направляемые в редакцию, подвергаются одностороннему слепому рецензированию. Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала на основании представленных рецензий, и ее решение является окончательным. О приеме или отклонении статьи редакция извещает автора по электронной почте.

После опубликования авторам по электронной почте высылается электронный отпечаток статьи. Оглавления выпусков журнала, а также опубликованные статьи в открытом доступе размещены на сайте журнала <http://press.psu.ru>.

### Представление рукописей

Рукописи статей представляются в редакцию в электронном виде через сайт журнала <http://press.psu.ru> или по электронной почте [chemvestnik@psu.ru](mailto:chemvestnik@psu.ru), [chemvestnik@yandex.ru](mailto:chemvestnik@yandex.ru). К статье должны быть приложены сканы сопроводительных документов: заключения о возможности открытого опубликования; лицензионный договор, подписанный всеми авторами. Образец договора размещен на сайте журнала в разделе «Правила для авторов» <http://press.psu.ru/index.php/chem/Guidelines>, а также может быть запрошен по электронной почте [chemvestnik@psu.ru](mailto:chemvestnik@psu.ru) или [chemvestnik@yandex.ru](mailto:chemvestnik@yandex.ru). Статья не может быть принята к печати, пока авторы не представили указанных документов.

Отправка статьи на доработку и возвращение исправленного варианта осуществляется посредством электронной системы на сайте <http://press.psu.ru> или электронной почты.

### Правила оформления статьи

Рукопись должна быть набрана на компьютере в текстовом редакторе MicrosoftOfficeWord. Размер страницы – А4. Поля – 2 см со всех сторон. Расстояние до верхнего и нижнего колонтитулов – 1,25 см, колонтитулы должны быть пустыми. Интервал до и после абзаца – 0 пт. Основной текст статьи набирается шрифтом TimesNewRoman, кегль (размер шрифта) – 11 пт, междустрочный интервал – полторный. Перенос слов – автоматический, слова разделяются одним пробелом. Абзацный отступ – 0,5 см. Не следует использовать клавишу Tab для форматирования текста, клавиша Enter используется только для создания нового абзаца.

При подготовке рукописи желательно использовать стилевой шаблон, который доступен на сайте журнала в разделе «Правила для авторов» <http://press.psu.ru/index.php/chem/Guidelines> и направляется авторам по запросу на электронную почту [chemvestnik@psu.ru](mailto:chemvestnik@psu.ru) или [chemvestnik@yandex.ru](mailto:chemvestnik@yandex.ru).

При оформлении статьи необходимо различать знаки дефис (-) и тире (–), знаки ноль (0) и букву O, английскую букву l (L) и единицу (1). Между числами ставится знак тире без отбивки (пробелов), напр.: 12–15. Пробел ставится между инициалами и фамилией, цифрой и размерностью кроме градусов, процентов и промилле, знаком номера или параграфа и числом, в ссылках на рисунки и таблицы (рис. 1, табл. 1). Пробел не ставится между кавычками или скобками и заключенными в них словами, числом и буквой в обозначениях (рис. 1а). Точка ставится после сносок (в том числе в таблицах), примечаний к таблице, подписей к рисункам, сокращений, кроме подстрочных индексов, соответствующих одному слову. Точка не ставится: после УДК, названий статьи, таблиц и рисунков, фамилий авторов, адресов, заголовков и подзаголовков, размерностей. Следует избегать смешанного употребления русских и латинских индексов. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

В материалах должны использоваться физические единицы и обозначения, принятые в Международной системе единиц СИ (ГОСТ 9867-61), и относительные атомные массы элементов по шкале  $^{12}\text{C}$ . В расчетных работах необходимо указывать используемые программы. При названии соединений следует использовать терминологию ИЮПАК.

*Математические формулы* набираются в редакторе Microsoft Equation версии 3.0 или ниже. Если формула набирается на отдельной строке, то она форматируется по центру.

*Формулы и схемы химических реакций* нумеруются только в случае их упоминания в тексте. Структурные формулы химических соединений и схемы химических реакций должны быть выполнены с помощью редактора химических формул ChemDraw (стиль ACS, шрифт TimesNew Roman, кегль – 11, масштабирование – 100 %).

Таблицы и рисунки подлежат нумерации в случае, если их больше одного. Текст должен содержать ссылки на все таблицы и рисунки. Дублирование данных в таблицах, рисунках и тексте недопустимо.

*Таблицы* должны быть оформлены с применением табличной разметки, иметь порядковые номера, названия, и вставлены непосредственно в текст статьи. Сокращения, структурные формулы и рисунки в таблицах не допускаются. Названия таблиц набираются прямым шрифтом, кегль (размер шрифта) – 11 пт и форматируются по центру. Вставка таблиц без названий не допускается.

*Рисунки* должны быть выполнены на компьютере и вставлены непосредственно в текст статьи. Фотографии и растровая графика должна быть представлена в формате TIFF, JPEG или PNG, векторная графика – в формате EPS. Рекомендуемое разрешение – не ниже 300 dpi. Использование импортированных объектов Microsoft Office Excel, Sigma Plot и других программ не допускается. Рекомендуется, чтобы размер рисунка в рукописи позволял его воспроизведение без масштабирования 7,5–8,0 см (на одну колонку), либо 16–17 см (на две колонки). При наличии нескольких частей одной иллюстрации они должны располагаться последовательно и иметь общую подпись. Внутри файла не следует группировать рисунки каким-либо способом.

Журнал является черно-белым изданием, поэтому представление цветных рисунков не допускается. Малоинформативные рисунки и микрофотографии, которые могут быть описаны в тексте, не публикуются. ИК-, ЯМР-спектры и ТГ-кривые публикуются только в тех случаях, когда они необходимы для выявления особенностей строения или поведения соединений и смесей. Количество рисунков и таблиц должно соотноситься с объемом рукописи. В процессе рецензирования и подготовки статьи к печати количество рисунков может быть изменено.

Подрисуночные подписи набираются прямым светлым шрифтом, кегль (размер шрифта) – 11 пт и форматируются по центру. Вставка рисунков без подрисуночных подписей не допускается.

### **Структура рукописи**

*Первая страница рукописи* оформляется следующим образом:

- Тип статьи (научная статья / обзорная статья).
- Индекс Универсальной десятичной классификации (УДК).

– Название статьи. По возможности следует исключить использование аббревиатур, математических и специальных символов.

– Авторы, фамилии иностранных авторов пишутся на языке оригинала, для языков с нелатинским шрифтом приводится англоязычная транскрипция.

– Полное наименование учреждений, где работают авторы. Указываются традиционные названия учебных учреждений и академических институтов без формы принадлежности. После наименования организации указывается город и страна.

– Аннотация / Abstract объемом 100–150 слов должна содержать сжатое описание основных результатов исследования и путей их достижения и новизну исследования. Использование аббревиатур и специальных символов не допускается.

– Ключевые слова / Key words (от 3 до 6) характеризующие тематику статьи и не повторяющие ее название. Перечисляются через точку с запятой, в конце точка не ставится.

Далее приводятся все указанные данные на английском языке.

*Основное содержание статьи* рекомендуется систематизировать на разделы: Введение, Теоретический анализ, Объекты и методы, Экспериментальная часть, Результаты и обсуждение, Заключение.

После заключения приводится *Список источников*, который оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Если исследования проводились на животных или с участием людей, то необходимо обязательно добавить раздел «*Соблюдение этических норм*», где указать: «Все исследования с участием животных соответствовали этическим стандартам учреждения, нормативным актам РФ и международных организаций» или «Все исследования, выполненные с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие».

Информацию о помощи в выполнении исследования, в том числе участие в обсуждении, благодарности коллегам, информацию об использовании уникального оборудования и оборудовании центров коллективного пользования следует отразить под заголовком «*Благодарности*».

Если исследование выполнено при финансовой поддержке какой-либо организации или спонсоров необходимо добавить раздел «*Финансирование*», где указать полное наименование организации, при финансовой поддержке которой выполнена работа, и номер гранта (договора).

Далее приводится раздел «*Сведения об авторах*», в котором указывают полное ФИО каждого автора, его ученая степень, ученое звание, должность, место работы, идентификатор ORCID (если имеется), электронная почта автора.

После сведений об авторах приводится раздел «*Авторский вклад*», который не является обязательным. Однако, рецензент или редакция может попросить конкретизировать вклад каждого автора в представленную к публикации рукопись.

Обязательным является раздел «*Конфликт интересов*», где авторы заявляют о наличии или отсутствии конфликта интересов в любой сфере, связанной с темой статьи.

Далее в статье приводятся «*References*» оформленный в соответствии с Harvard Style и переводы на английский язык разделов Сведения об авторах (Information about the authors), Авторский вклад (Contribution of the authors) и Конфликт интересов (Conflicts of interests).

### **Оформление списка литературы**

В соответствии с требованиями баз цитирования в конце рукописи необходимо приводить два списка – «Список литературы» и «References», которые располагаются под соответствующими заголовками.

Рекомендуемое количество цитируемых работ – не менее 20. Обязательно следует цитировать литературу, изданную в последние десять лет, а также избегать чрезмерного самоцитирования.

В списке литературы приводятся только опубликованные материалы, включая электронные издания. Ссылки на диссертации и авторефераты не рекомендуются, их следует заменить на опублико-

ванные работы автора. Следует по возможности избегать цитирования малодоступных источников – сборников трудов конференций, депонированных рукописей и т.п. Источники в списке литературы располагают в порядке цитирования, в тексте рукописи указывается номер источника в квадратных скобках, например, [5], [5, 6], [7–10], [1, 3–5], [1, 3, 4].

Источники в списке литературы оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008. В References указываются те же источники, что и в списке литературы и оформляются в соответствии со стандартом Harvard. Подробный образец оформления доступен на сайте ПГНИУ (psu.ru) в разделе Наука – Научные журналы – Методические материалы, а также на сайте журнала (press.psu.ru) в разделе Отправка статей.

При подготовке References следует учитывать правила:

– Если цитируемая работа написана на языке, использующем романский алфавит (английский, немецкий, итальянский и т.п.), то ссылку следует привести на оригинальном языке. Если цитируемая работа написана не на латинице (кириллица, иероглифы и т.п.), то необходимо привести официальный перевод или самостоятельный перевод (парафраз) на английский язык.

– Если у цитируемой работы существует официальный англоязычный вариант названия, то следует указать его. Если официального перевода нет или найти его не удастся, то необходимо привести самостоятельный перевод, в этом случае сначала приводится транслитерация, а затем в квадратных скобках парафраз.

– Если у журнала существует официальный англоязычный вариант названия или переводная версия, то следует указать его. Если официального перевода нет, то необходимо привести транслитерацию названия.

– При подготовке ссылки следует указывать перевод на английский язык места издания и транслитерацию названия издательства.

– Если цитируемая работа не англоязычная, то есть требовался перевод или транслитерация названия, то в конце ссылки необходимо указать идентификатор языка первоисточника, например (in Russian), (in German) и т.п.

– Во всех случаях при транслитерации рекомендуется использовать стандарт BSI (British Standard Institute, UK).

### Примеры оформления Списка литературы и References

1. Статья на английском языке в англоязычном журнале

*Murakami Y., Hiraiwa K., Sasaki Y., Fujiwara I., Tagashira S.* Surfactant gel adsorption of platinum (II), (IV) and palladium (II) as chloro-complexes and kinetic separation of palladium from platinum using EDTA // *Analytical sciences*. 2007. V. 23, №. 9. P. 1147–1149.

Murakami, Y., Hiraiwa, K., Sasaki, Y., Fujiwara, I., and Tagashira, S. (2007) “Surfactant gel adsorption of platinum (II), (IV) and palladium (II) as chloro-complexes and kinetic separation of palladium from platinum using EDTA”, *Analytical sciences*, vol. 23, no. 9, pp. 1147–1149.

2. Статья в русскоязычном журнале, имеющем переводную версию на английском языке или статья на русском языке, имеющая официальный перевод названия, опубликованная в журнале, имеющем официальное англоязычное название (можно найти на сайте журнала или в базах данных):

*Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С.* Высаливание бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата калия солями аммония как основа разработки процессов мицеллярной экстракции // *Журнал общей химии*. 2015. Т. 85, № 11. С. 1918–1923.

Elokhov, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova, O.S. (2015), “Salting out of potassium bis(alkylpolyoxyethylene) phosphate with ammonium salts as the base of micellar extraction processes development”, *Russian Journal of General Chemistry*, vol. 85, no. 11, pp. 2657–2662 (in Russian).

3. Статья на немецком языке, опубликованная в немецкоязычном журнале

*Hofmeister F.* Zur Lehre von der Wirkung der Salze // *Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*. 1988. V. 24. P. 247–260.

Hofmeister, F. (1888) "Zur Lehre von der Wirkung der Salze", *Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*, vol. 24, pp. 247–260 (in German).

4. Статья на русском языке, не имеющая официального перевода названия, опубликованная в журнале, не имеющем официальное англоязычное название:

Горденчук А.Д., Елохов А.М., Кудряшова О.С. Влияние ряда параметров на процесс кристаллизации формиата кальция // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20, № 22. С. 9–12.

Gordenchuk, A.D., Elokhov, A.M. and Kudryashova, O.S. (2017) Vliyaniye ryada parametrov na protsess kristallizatsii formiata kal'tsiya [Influence of a number of parameters on the crystallization of calcium formate], *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, vol. 20, no. 22, pp. 9–12 (in Russian).

5. Книги, монографии с авторами

Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Саратов. ун-т, 1969. 240 с.

Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969) *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyu mnogofaznogo sostoyaniya mnogokomponentnyh sistem* [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multicomponent systems], Saratov University, Saratov (in Russian).

6. Книги без авторов под общей редакцией

Поверхностно-активные вещества и композиции. Справочник / Под ред. М.Ю. Плетнева. М.: Фирма Кламель, 2002. 715 с.

Pletnev, M.Yu. (ed.) (2002) *Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva i kompozitsii. Spravochnik* [Surfactants and compositions. Handbook], Firma Klavel, Moscow (in Russian).

7. Главы в книге

Yamini Y., Feizi N., Moradi M. Surfactant-Based Extraction Systems // *Liquid-Phase Extraction* / Poole C.F., editor. Elsevier, 2020. P. 209–239.

Yamini, Y., Feizi, N. and Moradi, M. (2020) Surfactant-Based Extraction Systems. In: Poole, C.F. (ed.) *Liquid-Phase Extraction*, Elsevier, pp. 209–239.

8. Патенты

Состав для предотвращения наледи на дорогах: патент 2127293 Российская Федерация / Дубиновский М.З., Войтович В.А., Мухина Е.В., Исаков А.Е.; заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью "Ассоциация Легхим". – № 98101338/04; заявл. 20.01.1998; опубл. 10.03.1999, бюл. 25. – 5 с.

Dubinovsky, M.Z., Voitovich, V.A., Mukhina, E.V. and Isakov, A.E. (1999) *Sostav dlya predotvrashcheniya naledi na dorogakh* [Composition for the prevention of ice on roads], Russia, RU, Pat. 2127293 (in Russian).

*Научное издание*

*Вестник Пермского университета. Серия «Химия» =*

*= Bulletin of Perm University. CHEMISTRY*

*Том 12 (2022)*

*Выпуск 4*

Редактор *Е.В. Шумилова*  
Корректор *В.Е. Пирожкова*  
Компьютерная верстка *А.М. Елохов*  
Дизайн обложки *И.В. Машевская*

Адрес учредителя и издателя:  
614990, Пермский край,  
г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Адрес редакции:  
614990, Пермский край,  
г. Пермь, ул. Букирева, д. 15,  
Химический факультет  
Тел. +7 (342) 239-67-08;  
e-mail: chemvestnik@psu.ru

Подписано в печать 21.12.2022. Выход в свет 26.12.2022  
Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 5,81. Тираж 500 экз. Заказ 186



Издательский центр

Пермского государственного национального исследовательского университета  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография

Пермского государственного национального исследовательского университета  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Распространяется бесплатно и по подписке.

Подписка на журнал осуществляется онлайн на сайте  
«Пресса России. Объединенный каталог». Подписной индекс 41026.