

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

*Шейн 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.**

Иван Иванович Лапкин – проректор по научной работе Пермского университета, декан химического факультета, заведующий кафедрой органической химии ПГУ (к 120-летию со дня рождения) 5

**Горбунова М.Н., Загуменнова Д.Д.**

Радикальная сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с метакриловой кислотой 13

**Ельчищева Ю.Б., Посохина О.А., Павлов П.Т.**

Физико-химические свойства этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты 21

**Шавкунов С.П., Сидорова И.П.**

Определение физико-химических свойств угольного электрода в водных растворах высокой плотности 32

## CONTENTS

**Sergey I. Rogozhnikov**

Ivan I. Lapkin – vice-rector of Perm State University, dean of Chemistry Faculty, head of Organic Chemistry Department (to the 120th anniversary of the birth) 5

**Marina N. Gorbunova, Darya D. Zagumennova,**

Radical copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with methacrylic acid 13

**Yuliya B. Elchishcheva, Olga A. Posokhina O.A., Petr T. Pavlov**

Physico-chemical properties of ethyl ether N'-tosilhydrazide of oxalic acid 21

**Sergey P. Shavkunov, Irina P. Sidorova**

Determination of physicochemical properties of a carbon electrode in high-density aqueous solutions 32

— ИСТОРИЯ ХИМИИ. ПЕРСОНАЛИИ —

Персоналии

УДК 543

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-5-12>

**Иван Иванович Лапкин – проректор по научной работе  
Пермского университета, декан химического факультета, заведующий кафедрой  
органической химии ПГУ (к 120-летию со дня рождения)**

**Сергей Иванович Рогожников**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена жизни и деятельности Ивана Ивановича Лапкина, известного советского химика-органика, проректора по научной работе Пермского университета, декана химического факультета ПГУ, заведующего кафедрой органической химии ПГУ.

**Ключевые слова:** И.И. Лапкин, кафедры органической химии Пермского государственного университета, химический факультет Пермского государственного университета.

**Для цитирования:** Рогожников С.И. Иван Иванович Лапкин – проректор по научной работе Пермского университета, декан химического факультета, заведующий кафедрой органической химии ПГУ (к 120-летию со дня рождения) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 1. С. 5–12. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-5-12>.

Personalities

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-5-12>

**Ivan I. Lapkin – vice-rector of Perm State University, dean of Chemistry Faculty,  
head of Organic Chemistry Department (to the 120th anniversary of the birth)**

**Sergey I. Rogozhnikov**

Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** The article is devoted to the life and work of Ivan I. Lapkin, a well-known soviet organic chemist, vice-rector for scientific work of Perm University, dean of the Faculty of Chemistry of Perm State University, head of the Department of Organic Chemistry Perm State University.

**Keywords:** Ivan I. Lapkin, Department of Organic Chemistry of Perm State University, Chemistry Faculty of Perm State University.

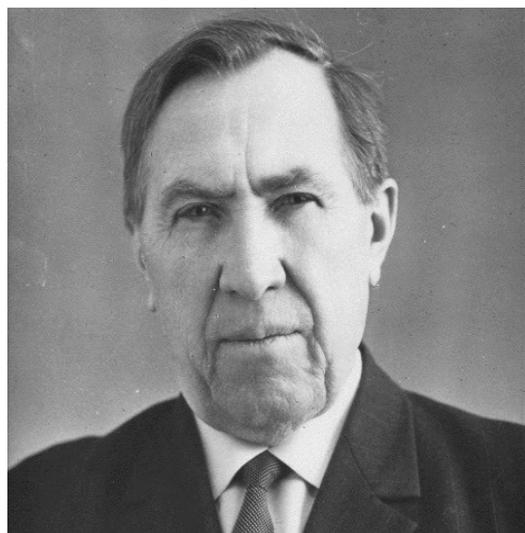
**For citation:** Rogozhnikov, S.I. (2023) “Ivan I. Lapkin – vice-rector of Perm State University, dean of Chemistry Faculty, head of Organic chemistry department (to the 120th anniversary of the birth)”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 1, pp. 5–12. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-5-12>.

Ученик известного русского химика А.Е.Арбузова, доктор химических наук, профессор И.И. Лапкин (1930–1993) более 60 лет проработал в Пермском государственном университете. В течение 9 лет он был проректором по научной работе ПГУ (1958–1967), 13 лет – в период с 1933 по 1936 гг. и с 1948 по 1958 гг. – возглавлял химфак, в течение 40 лет (1951–1991), заведовал кафедрой органической химии.

За годы работы в Пермском университете Иван Иванович развил научное направление по синтезу и химическим превращениям элементоорганических соединений, создал научную школу, получившую широкую известность в нашей стране и за рубежом. Под его руководством было защищено 3 докторских и 50 кандидатских диссертаций. Он является автором и соавтором около 500 статей, двух монографий и более двухсот авторских свидетельств на изобретения. За свой вклад в науку И.И.Лапкин был награжден орденами Ленина и Трудового Красного Знамени, несколькими медалями, ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР».

И.И.Лапкин родился 18 января 1903 г. в г. Геническе Таврической губернии в семье рабочего. Семья жила небогато, поэтому в летние месяцы Ивану приходилось подрабатывать на сельскохозяйственных работах. После окончания семилетки в 1921 г. он некоторое время работал канцелярским работником в милиции, молотобойцем в кооперации. Затем Иван учился на механика в профтехшколе, которую окончил в феврале 1922 г. В 1923 г. И.И. Лапкин поступил на математическое отделение физико-математического факультета Крымского университета, после закрытия которого в 1924 г.

был переведен в Казанский университет, где был зачислен на I курс химического отделения физико-математического факультета. Специализацию Иван Иванович проходил на кафедре органической химии, возглавляемой известным российским химиком, академиком Александром Ерминингельдовичем Арбузовым.



Иван Иванович Лапкин (конец 1950-х гг.)

То, что было сдано в Крыму, И.И.Лапкину зачли и даже назначили стипендию. Почти все основные предметы: неорганическую, аналитическую, органическую и техническую химию, а также геологию он сдал на «5», но по другим предметам были и «четверки», и даже «тройки». Спецпрактикум по органической химии Иван отработал успешно, правда, при этом не уберегся от штрафа «за разбитую посуду» (2 руб. 98 коп.).

Выполнив на писчебумажной фабрике исследование «Нормальные условия варки канифоля для проклейки бумаги», в мае 1928 г. он защитил его как квалификационную работу. После окончания в мае 1928 г. Казанского университета И.И.Лапкин поступил в Грозненский научно-исследовательский нефтяной институт, где, ра-

ботая научным сотрудником, занимался изучением состава природного и попутных нефтяных газов. Уже в этот период Иван Иванович начал активно публиковаться. Так, четыре его статьи были опубликованы в 1929–1930 гг. в журналах «Бумажная промышленность», «Гигиена труда» и «Азербайджанское нефтяное хозяйство».

В связи с открытием в 1929 г. в Пермской области месторождения нефти, И.И.Лапкин в 1930 г. был приглашен на кафедру органической химии ПГУ на должность исполняющего обязанности доцента (с 1 марта 1930 г.), где ему было поручено организовать пирогенетическое отделение. Благодаря Ивану Ивановичу для работы в Грозном была закуплена необходимая аппаратура, реактивы, научная литература по химии нефти.



И.И. Лапкин (начало 1930-х)

В 1930-е гг. по нефтяной тематике И.И.Лапкиным были опубликованы следующие работы: «К вопросу о содержании жирных кислот в нефти», «Химический состав нефтяных газов», «Исследование Уральской (Пермской) нефти», «Нефти Пермского района», «Исследование нафтеновых кислот».

В 1933 г. Иван Иванович был избран на должность доцента кафедры органической хи-

мии. Ему было поручено чтение курсов по органической химии, стереохимии, определению структуры органических соединений, анализу органических веществ и руководство дипломными работами студентов. Позднее ученым были поставлены большие практикумы по анализу органических соединений и методам определения функциональных групп.

В 1934 г. постановлением квалификационной комиссии Наркомпроса И.И. Лапкин был утвержден в ученом звании доцента. С 1933 по 1936 г. работал деканом химического факультета ПГУ, проявив себя на этой сложной и ответственной должности с самой лучшей стороны. В 1938 г. И.И.Лапкину за исследования в области нафтеновых кислот по совокупности работ была присуждена ученая степень кандидата химических наук без защиты диссертации.

Начиная с конца 1930-х гг., Иван Иванович изменил область своих научных интересов. С 1939 г. он занялся химией элементоорганических соединений, в основном – металлоорганических. В 1940 г. была опубликована статья И.И.Лапкина (в соавторстве с выпускниками химфака В.С.Шкляевым и Т.И.Шкляевой), посвященная исследованию магнийорганических соединений, в частности, стерическим эффектам в реакциях с участием реактива Гриньяра. Эта статья положила начало новому научному направлению, которое продолжается на кафедре органической химии ПГУ и по сей день.

Великая Отечественная война прервала научные исследования ученого. В 1941–1945 гг. И.И.Лапкин с сотрудниками выполнял задания оборонного значения: разрабатывал способ получения необходимого авиации высокооктанового топлива, сумев достичь октанового числа 120; руководил изготовлением взрывчатых ве-

ществ; разработал способ получения нового детонатора, покрытия для парашютов, дезинфицирующего мыла без использования пищевых жиров; по заданию наркомата угольной промышленности проводил изучение ацетилирующего полукоксования бурых углей и торфа.

Важным направлением деятельности кафедры в военное время стало также снабжение многочисленных госпиталей, находящихся в

Перми и Пермской области, медицинским эфиром, необходимым для многих хирургических операций. На кафедре органической химии была собрана большая лабораторная установка, с помощью которой получали эфир, тем самым полностью обеспечив госпитали необходимым медицинским препаратом. Для студентов химфака во время войны Иван Иванович читал курс «Химия взрывчатых веществ».



И.И. Лапкин и Д.М. Марко

После войны сотрудники кафедры (И.И.Лапкин, О.М.Лапкина, А.В.Любимова, А.И.Головкова) возобновили изучение металлоорганических соединений. В 1948 г. Иван Иванович Лапкин блестяще защитил в Казанском университете в знаменитой Бутлеровской аудитории докторскую диссертацию на тему «Пространственные торможения при магнийорганических реакциях».

А.Е.Арбузов, А.И.Луньяк и другие ученые высоко оценили тщательное исследование бывшего выпускника Казанского университета. А.Е.Арбузов, который начинал работать с магнием еще у известного русского химика А.М.Зайцева в 1900 г., но значительно больше-

годостигший, работая с цинком, напомнил диссертанту о достижениях А.М.Зайцева в области цинкорганического синтеза, указав, что это направление разработано слабо, хотя и является очень перспективным.

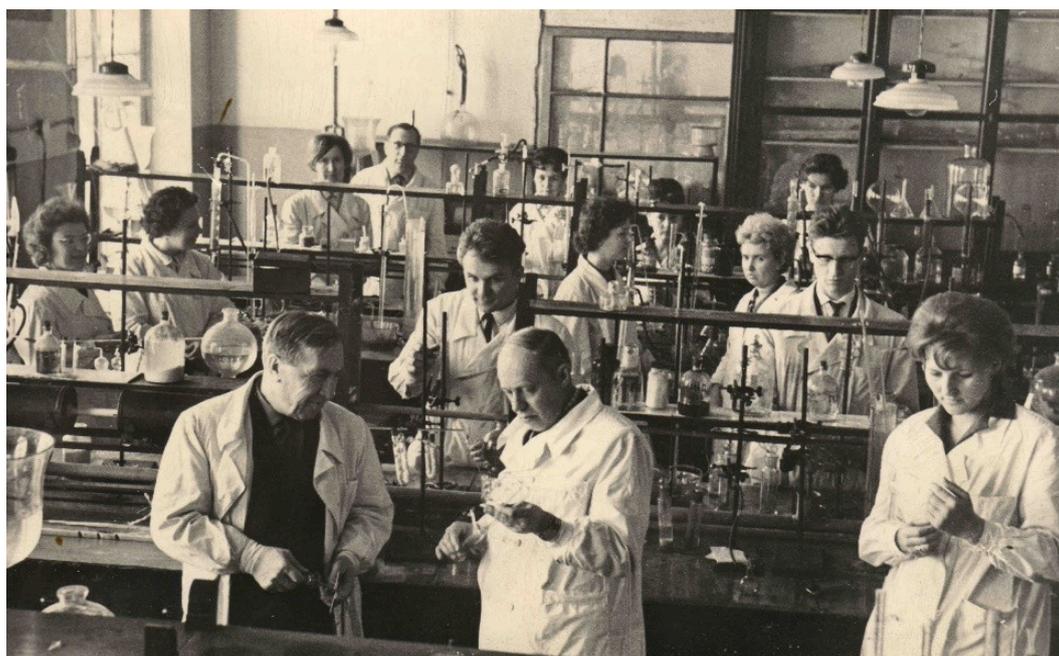
Работая с магнийорганическими соединениями, И.И. Лапкин с сотрудниками достигли значительных успехов. Так, применение соединений с усложненными радикалами открыло возможность останавливать ход реакции на одной из промежуточных стадий и получать вещества, отличающиеся по своей структуре (тем самым – и свойствами) от обычных конечных продуктов реакции. В 1948 г. И.И.Лапкин снова возглавил химфак, проработав в должности де-

кана до 1958 г. Причем, с 1954 по 1955 гг. он был деканом временно объединенного химико-биологического факультета.

В 1950 г. Ивану Ивановичу решением Высшей аттестационной комиссии была присуждена степень доктора химических наук. Получив годом позже звание профессора, он с сентября 1951 г. возглавил (после ухода на пенсию профессора Д.М.Марко) кафедру органической химии ПГУ. Под руководством И.И. Лапкина работа большого коллектива научных сотрудников и аспирантов развивалась по нескольким направлениям. Многие были достигнуты в синтезе сложных эфиров, благодаря чему труднодоступные вещества стали легкодоступными. Кроме того, впервые были получены некоторые эфиры. Путем прибавления третьего компонента был разработан способ регулирования металлоорганических реакций. Изучение взаимосвязи «геометрии» и химической активности показало, что в определенных реакциях менее активные группы легче включаются в реакцию благодаря их меньшему молекулярному объему.

В середине 1950-х гг. под руководством И.И.Лапкина на кафедре началось изучение химии галогеналкоголятов. Объектами исследования был поиск ответа на два вопроса – термическая устойчивость галогенметаллалкоголятов и характер их химических превращений. Знание форм термического и химического поведения этих соединений позволяло предвидеть течение реакций в тех или иных условиях, и главное – регулировать их.

С 1960-х гг. начались также исследования в области кремнийорганических соединений, а затем и оловоорганических соединений. В этот период активно изучалась также химия простых и сложных эфиров. Соавторами работ Ивана Ивановича Лапкина в конце 1950-х и начале 1960-х гг. были М.Н.Рыбакова, О.М.Лапкина, М.И.Беланович, Р.Г.Мухина, Г.А.Южакова, Т.Н.Поварницына, В.А.Думлер, И.С.Рогожникова, Ю.П.Дормидонтов, И.С.Бердинский, Н.В. Богословский и другие ученые, впоследствии многие годы плодотворно работавшие на химическом факультете.



И.И.Лапкин за работой в лаборатории (конец 1960-х гг.)

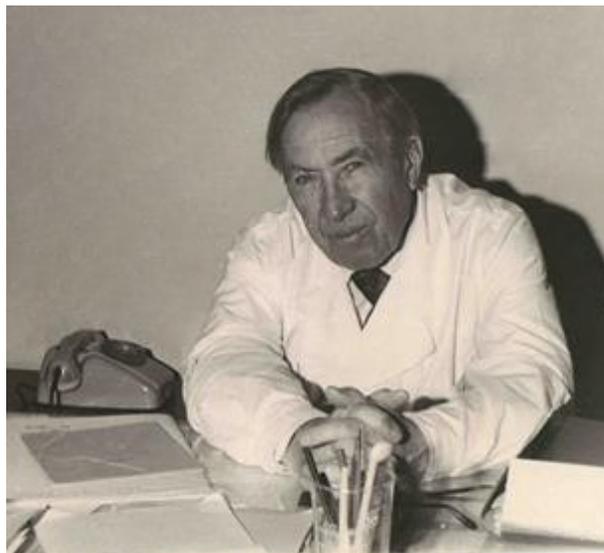
Начиная с 1965 г., И.И.Лапкин и его школа стали систематически разрабатывать синтезы с участием цинкорганических соединений, продолжив исследования, начатые учеными Казанской химической школы. В частности, были открыты новые классы цинкорганических соединений – галогенцинкетены.

В течение 30 лет И.И.Лапкин возглавлял также и созданную им лабораторию элементоорганических соединений при Естественнонаучном институте ПГУ. Под его руководством были проведены научные исследования по изучению реакций органических соединений магния, цинка, бора, кремния, германия, олова, бериллия, серы, селена. Всего сотрудниками лаборатории была получена не одна тысяча новых соединений, изучена возможность их применения для различных целей. Каждое новое вещество ученые проверяли на предмет его научной и производственной ценности, а также в качестве возможного лекарственного препарата. Для этого они использовали современные физические методы исследования, уникальную аппаратуру. Только по элементоорганическим соединениям сотрудниками лаборатории было опубликовано более 350 работ, подготовлено и защищено более 40 диссертаций (из них три докторские).

Кафедра органической химии Пермского университета была признана ведущей на Урале по элементоорганическим соединениям, ей был поручен выпуск межвузовских сборников соответствующих работ ученых Свердловского, Башкирского и других университетов и вузов Урала, Сибири. И.И. Лапкин был главным редактором сборника. Кроме этого, он руководил научным семинаром кафедры, где обсуждались рекомендованные к печати работы, намечались

планы дальнейших исследований.

В 1958 г. Министерство высшего и среднего специального образования утверждает И.И. Лапкина проректором ПГУ по научной работе. На этой должности, которую Иван Иванович занимал на протяжении 10 лет, особенно ярко раскрылись научные, педагогические и организаторские способности ученого.



И.И.Лапкин в рабочем кабинете (1980-е гг.)

В течение многих лет Иван Иванович Лапкин также являлся председателем специализированного совета по присуждению ученых степеней в области химических наук, был членом Головного совета по органической химии Министерства высшего и среднего специального образования России, постоянным редактором сборников научных трудов по органической химии. В течение десяти лет Иван Иванович Лапкин был членом Пермского обкома КПСС.

По словам ректора Пермского университета того времени Виктора Петровича Живописцева, Иван Иванович Лапкин был человеком «неутомимым, на удивление трудоспособным».

На кафедре органической химии Ивану Ивановичу удалось создать дружный сплоченный коллектив, который ставил перед собой

серьезные научные задачи и с успехом решал их. За время руководства кафедрой И.И.Лапкиным она неоднократно занимала первые места по научной работе.

Ученый активно занимался методической работой студентов, совершенствованием научной работы. Большой опыт учебной и научной работы и энциклопедические знания позволяли профессору И.И.Лапкину вносить существенные предложения по организации учебного процесса. Для студентов химического факультета И.И. Лапкин читал ряд курсов. В тридцатых годах это были: «Методы определения структуры органических соединений», «Элементный анализ», позднее – «Сtereoхимия», «Химия взрывчатых веществ», «Органическая химия».



И.И.Лапкин рассматривает полученное студенткой соединение

Иван Иванович Лапкин прожил долгую и творческую жизнь, активно занимаясь учебной и научной работой, даже в возрасте, близком к 90 годам. Он любил поэзию и очень тепло вспоминал о выступлениях В.В. Маяковского, на которых он присутствовал в 1927 г. в Казани и 1929 г. в Ялте. Вот что он писал о

В.В.Маяковском в газете «Пермский университет» в №8 от 20.03.1990 г.: «Непривычной была его поэзия... Сторонников поэзии Маяковского в эти годы было очень мало. Я тоже был далеко не любителем творчества этого поэта...Я стал любить его стихи после того, как прослушал выступление его самого в Казанском университете. Читал он прекрасно. В его поэзии все было: и образ, и рифма, и мастерство чтеца. Его красивый и в то же время могучий голос, его большая фигура – все это привлекало к себе внимание. Читал он свои стихи без всяких записей, наизусть... Слушали его охотно и с большим вниманием. Маяковский имел прекрасный дар заставить себя слушать».

Кафедрой органической химии Иван Иванович Лапкин руководил в течение 40 лет до 31 августа 1991 г., когда он передал ее Юрию Сергеевичу Андрейчикову – выпускнику химфака 1958 г., оставшись профессором-консультантом на объединенной кафедре органической химии и химии природных и биологически активных соединений.

Обладая крепким здоровьем, Иван Иванович даже в солидном возрасте работал наравне с молодыми сотрудниками. До последних дней жизни он приходил в университет, поднимаясь на 4-й этаж химического корпуса, на котором располагалась кафедра органической химии, давал консультации сотрудникам и аспирантам химического факультета.

Иван Иванович Лапкин умер 16 ноября 1993 г., прожив 90 лет, 9 месяцев и 29 дней.

В течение ряда лет студентам химического факультета ПГУ присуждалась стипендия имени профессора И.И. Лапкина. Она назначалась за особые успехи в учебной и научной деятельности сроком на один семестр.

На химическом факультете Пермского государственного национального исследовательского университета продолжают традиции, заложенные И.И. Лапкиным. Кафедра органи-

ческой химии, которой ученый отдал 61 год своей жизни, последние 6 лет неизменно занимает первое место в университете по научной работе.

#### **Библиографический список**

1. Лапкин Иван Иванович // Костицын В.И. Пермский университет: 100-летие ученых, государственные памятники истории и культуры. Пермь: Изд-во Перм.ун-та, 2003. С. 5–7.
2. Лапкин И.И. Война – это и жизнь, и борьба тыла // Пермский университет в воспоминаниях современников. Вып. 2. Ради жизни на Земле. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1995. С. 133.
3. Лапкин Иван Иванович // Профессора Пермского государственного университета (1916–2001) / гл. ред.: В.В. Маланин. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. С. 77.
4. Рогожников С.И. История и методология химии. О влиянии занятий химией на продолжительность жизни учёных. Пермь: изд-во Перм. ун-та, 2013. С. 151–153.
5. ПермГАНИ. Фонд № 3 Личный фонд. Лапкин Иван Иванович (1903–1993), профессор Пермского государственного университета им. А.М. Горького, доктор химических наук, заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Опись №:1 т. 1.
6. Рыбакова М.Н. История кафедры органической химии (1918–2011) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2011. Вып. 4(4). С. 4–11.

#### **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 24 января 2023 г.; принята к публикации 1 марта 2023 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 24 January 2023; accepted 1 March 2023.*

Научная статья

УДК 541.64:542.952

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-13-20>

## Радикальная сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с метакриловой кислотой

Марина Николаевна Горбунова<sup>1,2</sup>, Дарья Дмитриевна Загуменнова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>«Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук» – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН, Пермь, Россия

**Аннотация.** Изучена радикальная сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с метакриловой кислотой в массе и в органических растворителях. Установлено, что сополимеризация протекает с образованием статистических сополимеров, обогащенных звеньями кислоты. Исследованы кинетические закономерности реакций, и выяснено, что с увеличением доли метакриловой кислоты в исходной мономерной смеси скорость реакции сополимеризации возрастает.

**Ключевые слова:** 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорид; метакриловая кислота; радикальная сополимеризация.

**Для цитирования:** Горбунова М.Н., Загуменнова Д.Д. Радикальная сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с метакриловой кислотой // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 1. С. 13–20. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-13-20>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-13-20>

## Radical copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with methacrylic acid

Marina N. Gorbunova<sup>1,2</sup>, Darya D. Zagumenнова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Institute of Technical Chemistry UB RAS (branch of PFRC UB RAS), Perm, Russia

**Abstract.** Radical copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with methacrylic acid in bulk and in organic solution has been studied. It has been established that the copolymerization proceeds with the formation of acid-enriched random copolymers. Kinetic regularities of the copolymerization reaction were investigated and it was found that with increasing proportion of methacrylic acid in the initial monomer mixture, the rate of the copolymerization reaction increases.

**Key words:** 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride; methacrylic acid; radical copolymerization.

**For citation:** Gorbunova, M.N. and Zagumenнова, D.D. (2023) “Radical copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with methacrylic acid”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 1, pp. 13–20. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-13-20>.



Полифункциональные водорастворимые сополимеры, молекулы которых содержат катионные и анионные группы, обладают амфотерными свойствами и считаются одним из наиболее интересных и перспективных классов полимеров. Полиамфолиты способны имитировать поведение белков, полипептидов и полинуклеотидов. Возможности применения полиамфолитов (водоподготовка, разделение и очистка биологических смесей, бифункциональные сорбенты, создание биосенсоров, систем молекулярной электроники, накопителей энергии, суперконденсаторов, разработка физиологически активных лекарственных средств, систем доставки лекарств и др.) вызывают интерес к проблеме синтез новых представителей этого класса полимеров [1–4].

Полиамфолиты на основе хлорида N,N-диметил-N,N-диаллиламмония представляют интерес для различных областей промышленности и медицины [5–7]. Учитывая широту спектра полезных свойств указанных полиамфолитов, представляет интерес получить полиамфолиты на основе другой соли – 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида (АГХ). Ранее нами были получены сополимеры АГХ с акриловой кислотой, определены относительные активности сомономеров, исследованы кинетические аспекты реакции [8].

Настоящая работа посвящена исследованию реакционной способности 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида в реакциях радикальной сополимеризации с метакриловой кислотой (МАК). Специфической чертой полиметакриловой кислоты является образование компактной вторичной структуры в водных растворах при низких значениях pH [9].

## Экспериментальная часть

2,2-Диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорид получали по методике [10]. Чистоту АГХ контролировали элементным анализом и ЯМР  $^{13}\text{C}$ . По данным элементного анализа содержание С 62.42% (теор. 62.61), Н – 10.67% (теор. 10.43), N – 14.58 % (теор. 14.61) и Cl – 12.32% (теор. 12.35). Метакриловую кислоту (МАК) (“Alfa Aesar”) очищали перегонкой, использовали фракцию с Т. кип. 163°C,  $n_D^{20} = 1.4309$ . Значения хим. сдвигов ( $\delta$ , м.д.) сигналов ЯМР  $^{13}\text{C}$  спектров АГХ и МАК приведены в табл. 1.

Инициатор динитрил азобисизомаляной кислоты (ДАК) квалификации ч.д.а. трижды перекристаллизовывали из метанола, сушили в вакууме, Т. пл. 103°C.

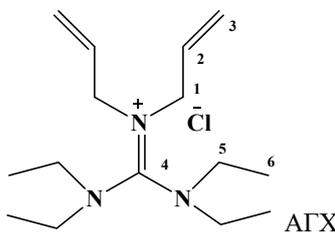
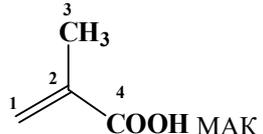
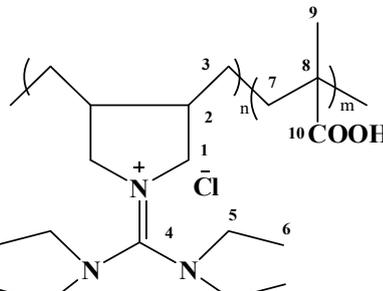
Растворители, используемые в работе, после очистки общепринятыми методами [11] имели характеристики, соответствующие литературным данным.

Сополимеризацию АГХ с МАК проводили в массе и растворе органических растворителей в присутствии ДАК. Кинетику процесса изучали гравиметрическим методом. При достижении нужной степени конверсии полимеризацию прерывали охлаждением и последующим осаждением. Осажденный сополимер отделяли из смеси центрифугированием.

Очистку сополимеров проводили 3-х кратным переосаждением из метанола в ацетон. Очищенные сополимеры сушили в вакууме при температуре 50°C до постоянной массы. Состав сополимеров находили по результатам элементного анализа. Скорость  $V_0$  рассчитывали по начальным участкам кинетических кривых до степени конверсии  $\leq 10\%$ .

Таблица 1.

Химические сдвиги и мультиплетность сигналов ЯМР  $^{13}\text{C}$  АГХ, МАК и их сополимера

Структура	Значения хим. сдвигов и мультиплетность ядер									
	C <sup>1</sup>	C <sup>2</sup>	C <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>	C <sup>5</sup>	C <sup>6</sup>	C <sup>7</sup>	C <sup>8</sup>	C <sup>9</sup>	C <sup>10</sup>
 АГХ	54,56	133,8	123,41	165,7	45,83	14,48				
 МАК	124,79	136,61	17,99	168,1						
 АГХ-МАК	52,09	30,61	47,96	162,5	43,49	12,64	31,78	44,50	18,00	179,4

Элементный анализ выполнен на элементном анализаторе «Лесо CHNS-9321P» (Нидерланды), навеска образца составляла 2 мг, коэффициент вариации значений находится в интервале 0.05—0.29%.

Эффективные константы сополимеризации  $r_1$  и  $r_2$  рассчитывали методами Файнемана–Росса [12] и Келена–Тюдеша [13].

Спектры ИК сополимеров регистрировали на спектрометре IFS 66/S Bruker в вазелиновом масле.

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  регистрировали на спектрометре “Bruker AM-400” (рабочая частота 400 и 100 МГц соответственно) с широкополосным подавлением по протонам и в режиме “моно-резонанса”. В качестве растворителя использовали  $\text{DMSO-}d_6$ ; внутренним стандартом служил тетраметилсилан.

Приведенную вязкость растворов сополимера ( $\eta_{\text{уд}}/C$ , дл/г) определяли методом вискозиметрии (вискозиметр Уббелюде) при  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ .

Молекулярная масса сополимеров была определена методом ЭЖХ, используя хроматографический комплекс Dionex ULTIMATE 3000, оборудованный двумя колонками Acclaim (5 мкм) и рефрактометрическим детектором RefractoMax 521. Для определения молекулярных масс использовали узкодисперсные стандарты полистирола, диапазон молекулярных масс  $500 - 3 \times 10^5$ .

### Результаты и их обсуждение

Исследование сополимеризации АГХ с МАК в области малых конверсий в присутствии инициатора ДАК показало, что в результате сополимеризации происходит образование статистических сополимеров. Зависимость состава

сополимеров АГХ с МАК от состава исходной мономерной смеси приведена на рис. 1. Из диаграммы состава сополимеров видно, что, как и в случае с акриловой кислотой [8], метакриловая кислота более активна, и независимо от состава исходной мономерной смеси сополимеры обогащены звеньями акрилового мономера. Значения эффективных констант сополимеризации АГХ ( $M_1$ ) с МАК ( $M_2$ ) равны:  $r_1 = 0,19 \pm 0,01$  и  $r_2 = 1,33 \pm 0,33$ .

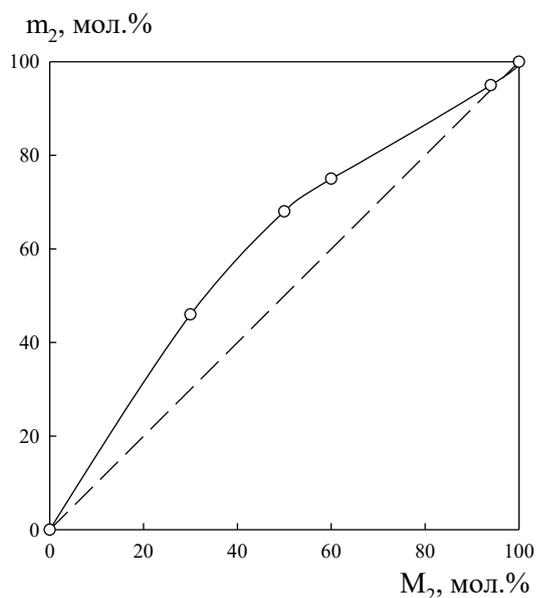


Рис. 1. Зависимость состава сополимеров АГХ с МАК ( $M_2$ ) от состава исходной мономерной смеси:  $80^\circ\text{C}$ , ДАК = 3 мас.%.

Среднечисловая и средневесовая молекулярные массы сополимеров АГХ с МАК равны 24690 и 32590, индекс полидисперсности, равный 1,32, указывает на обрыв цепи преимущественно в результате рекомбинации радикалов роста.

Кинетические исследования показали, что порядок реакции по инициатору равен 0,5, что указывает на бимолекулярный обрыв растущих цепей и на отсутствие деградиционной передачи цепи на мономер, присущей аллиловым мономерам [9, 10]. Порядок реакции по сумме мо-

номеров (при их эквимольном соотношении) в системе АГХ с АК равен 1,7. Такое повышенное значение порядка реакции по мономеру наблюдалось нами ранее при сополимеризации АГХ с акриловой кислотой [8] и другими виниловыми мономерами [14-17].

Исследование кинетических закономерностей сополимеризации АГХ с МАК в области малых конверсий показало, что с увеличением концентрации кислоты в исходной мономерной смеси скорость реакции заметно повышается (рис. 2).

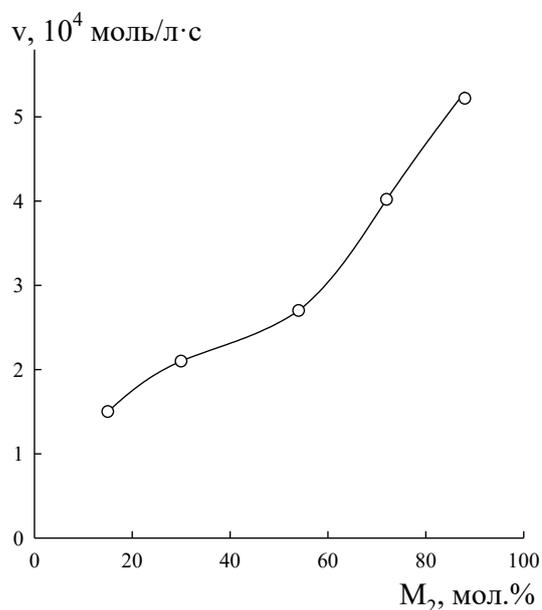


Рис. 2. Зависимость начальной скорости сополимеризации АГХ с МАК ( $M_2$ ) от содержания МАК ( $M_2$ ) в исходной смеси:  $10^{-2}$  моль/л ДАК,  $80^\circ\text{C}$

По сравнению с акриловой кислотой метакриловая кислота более активна. При одинаковых условиях проведения реакции скорость сополимеризации АГХ с МАК значительно выше, чем с АК. Так, при проведении сополимеризации при  $80^\circ\text{C}$  в присутствии 3 мас.% ДАК при соотношении мономеров  $M_1/M_2 = 47/53$  скорость реакции сополимеризации АГХ с МАК составляет  $2,7 \cdot 10^{-4}$  моль/л·с, в то время как скорость реакции сополимеризации АГХ с

АК –  $0,34 \cdot 10^{-4}$  моль/л·с [8]. Значения эффективных констант сополимеризации АГХ с МАК ( $M_2$ ) в массе также свидетельствуют о несколько большей активности МАК ( $r_1/r_2 = 0,14$ ) по сравнению с АК ( $r_1/r_2 = 0,57$ ;  $M_2 = \text{АК}$ ) [8].

Исследование структуры полученных полимеров проводили методом ИК (рис. 3) и ЯМР

$^{13}\text{C}$  спектроскопии (табл. 1). Анализ значений хим. сдвигов сигналов и их мультиплетности свидетельствует, что в реакции (со)полимеризации участвуют обе двойные связи АГХ, при этом наблюдается образование пирролидиниевых структур, что согласуется с данными по сополимеризации АГХ [8, 14–17].

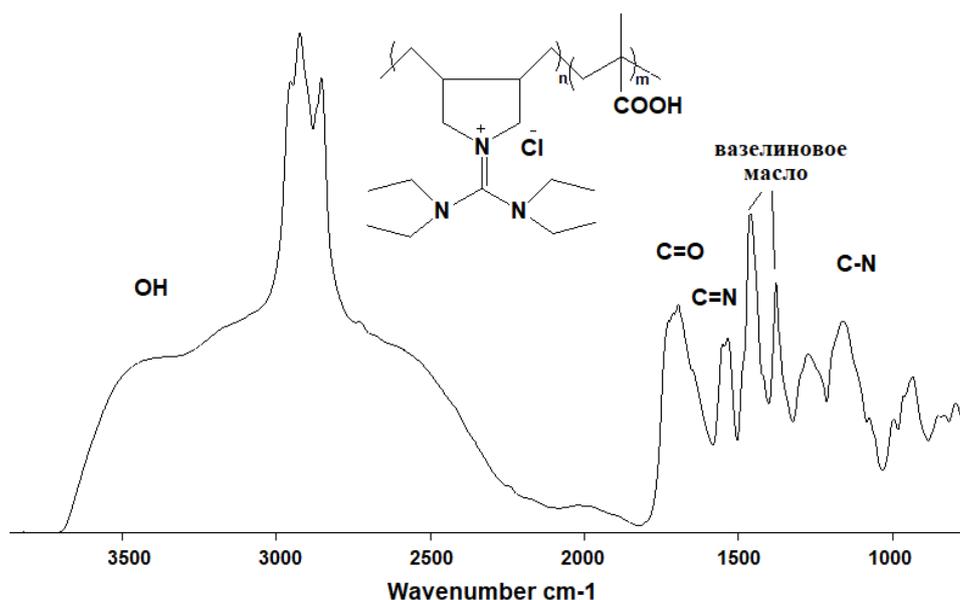


Рис. 3. ИК спектр сополимера АГХ–МАК.

Полученные сополимеры растворимы в воде, спирте и ДМСО и не растворяются в ацетоне и диэтиловом эфире. Вследствие проявления полиэлектролитного эффекта приведенная вязкость раствора сополимера АГХ с МАК с разбавлением растет (рис. 4). Добавление низкомолекулярного полиэлектролита (1 моль/л NaCl) позволяет удалить полиэлектролитный эффект.

### Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать заключение, что сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с метакриловой кислотой протекает с образованием сополимеров, характеризующих-

ся статистическим распределением звеньев в полимерной цепи.

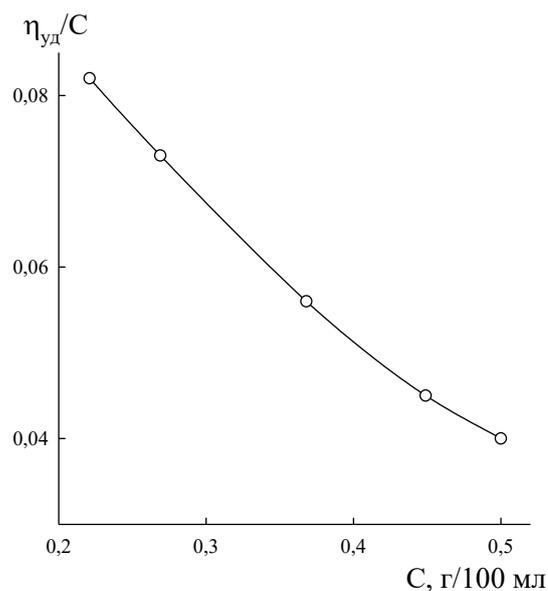


Рис. 4. Зависимость приведенной вязкости водного раствора сополимера АГХ–МАК от концентрации

В реакциях сополимеризации с метакриловой кислотой принимают участие обе двойные связи 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида, при этом происходит образование пирролидиниевых структур в полимерной цепи. В результате внутримолекулярной циклизации образующиеся полимеры циклолинейной структуры растворимы.

#### Благодарности и финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-23-00073).

Авторы благодарят Центр коллективного пользования ПФИЦ УрО РАН «Исследование материалов и вещества» за спектральные и аналитические исследования.

#### Список источников

1. *Kudaibergenov S.* Application of polyampholytes in emerging technologies // *Materials today: proceedings.* 2022. V. 71. P. 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.187>.
2. *Kudaibergenov S.* Macromolecular complexes of polyampholytes // *Pure and Applied Chemistry.* 2020. V. 92. P. 839–857. <https://doi.org/10.1515/pac-2019-1104>.
3. *Haag S.L., Bernards M.T.* Polyampholyte hydrogels in biomedical applications // *Gels.* 2017. V. 3. Art. 41. <https://doi.org/10.3390/gels3040041>.
4. *Kudaibergenov S.* Polyampholytes: Synthesis, Characterization and Application. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2002.
5. *Топчиев Д.А., Капцов Н.Н., Гудкова Л.А. и др.* А.С. 910664 СССР Соплимеры N,N-диалкил-N,N-диаллиламмоний хлорида с метакриловой кислотой проявляющие флокулирующие и высаливающие свойства. Б.И. 1982. № 9. С. 91.
6. *Varvery F.S., Jula R.J., Hoover M.F.* Pat 3639208 USA. Polyamphoteretic polymeric retention aids // *РЖХим.* 1972. № 22. С744П.
7. *Воробьева А.И., Султанова Г.Р., Булгаков А.К., и др.* Синтез и биологические свойства сополимеров на основе N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорида // *Химико-фармацевтический журнал.* 2012. V. 46. P. 653–655. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2012-46-11-21-23>.
8. *Горбунова М.Н., Мальцев А.А.* Радикальная сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с акриловой кислотой // *Вестник Пермского университета. Серия «Химия».* 2022. Т. 12, № 2. С. 99–106. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2022-2-99-106>.
9. *Chaduc I., Girod M., Antoine R., et al.* Batch Emulsion Polymerization Mediated by Poly(methacrylic acid) MacroRAFT Agents: One-Pot Synthesis of Self-Stabilized Particles // *Macromolecules.* 2012. V. 45. P. 5881–5893. <https://doi.org/10.1021/ma300875y>.
10. *Воробьева А.И., Сагитова Д.Р., Горбунова М.Н., и др.* Активность диаллиламидо-бис-(диэтиламидо)гуанидиний хлорида в реакциях радикальной полимеризации // *Высокомолекулярные соединения. Серия Б.* 2007. Т. 49, № 7. С. 1293–1298.
11. *Гордон А., Форд Р.* Спутник химика. М.: Мир, 1976.
12. *Finemann M., Ross S.D.* Linear method for determining monomer reactivity ratios in copolymerization // *Journal of Polymer Science.* 1950. V. 5, № 2. P. 259–284.

13. Kelen T., Tüdös F. Analysis of the linear methods for determining copolymerization reactivity ratios. I. A new improved linear graphic method // Journal of Macromolecular Science – Chemistry. 1975. V. 9, № 1. P. 1–27. <https://doi.org/10.1080/00222337508068644>.
14. Горбунова М.Н., Ощепкова Т.Е. Сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с винилацетатом // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2009. Т. 51. С. 1830–1835.
15. Горбунова М.Н. Сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с N-замещенными малеимидами // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2010. Т. 52. С. 1515–1522.
16. Горбунова М.Н., Карманов В.И. Сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с малеиновой кислотой // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2011. Т. 53, № 4. С. 593–596.
17. Горбунова М.Н., Борисова И.А. Сополимеризация 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидиний хлорида с алкилметакрилатами // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2016. Т. 58, № 6. С. 440–449. <https://doi.org/10.7868/S2308113916060073>.

#### Информация об авторах

**Марина Николаевна Горбунова**, доктор химических наук, доцент, кафедра биохимии и медицинской биотехнологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15); старший научный сотрудник, лаборатория биологически активных соединений, «ИТХ УрО РАН» (614013, г. Пермь, ул. Королева, 3), [mngorb@yandex.ru](mailto:mngorb@yandex.ru).

**Дарья Дмитриевна Загуменнова**, студент, кафедра биохимии и медицинской биотехнологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [kashinadarina@yandex.ru](mailto:kashinadarina@yandex.ru).

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 16 февраля 2023 г.; одобрена 6 марта 2023 г.; принята к публикации 6 марта 2023 г.

#### References

1. Kudaibergenov, S. (2022) “Application of polyampholytes in emerging technologies”, *Materials today: proceedings*, vol. 71, pp. 31–37.
2. Kudaibergenov, S. (2020) “Macromolecular complexes of polyampholytes”, *Pure and Applied Chemistry*, vol. 92, pp. 839–857.
3. Haag, S.L. and Bernards, M.T. (2017) “Polyampholyte hydrogels in biomedical applications”, *Gels*, vol. 3, art. 41.
4. Kudaibergenov, S. (2002) “*Polyampholytes: Synthesis, Characterization and Application*”, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
5. Topchiev, D.A., Kaptsov, N.N., Gudkova, L.A., Kabanov, V.A., Martynenko, A.I., Truschin, B.N. and Parhamovich, E.S. (1982) “*Copolymers of N,N-dialkyl-N,N-diallylammonium chloride with methacrylic acid exhibiting flocculating and salting out properties*”, Pat. 910664 USSR.. (in Russ.)
6. Varvery, F.S., Jula, R.J. and Hoover, M.F. (1972) “*Polyamphoteric polymeric retention aid*”, Pat. 3639208 USA.

7. Vorob'eva, A.I., Sultanova, G.R., Bulgakov, A.K., Zainchkovskii, V.I. and Kolesov, S.V. (2013) "Synthesis and biological properties of copolymers based on N,N-diallyl-N,N-dimethylammonium chloride", *Pharmaceutical Chemistry Journal*, vol. 46, pp. 653–655.
8. Gorbunova, M.N. and Maltsev, A.A. (2022) "Radical copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with acrylic acid", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 12, pp. 99–106.
9. Chaduc, I., Girod, M., Antoine, R., Charleux, B., D'Agosto, F. and Lansalot, M. (2012) "Batch Emulsion Polymerization Mediated by Poly(methacrylic acid) MacroRAFT Agents: One-Pot Synthesis of Self-Stabilized Particles", *Macromolecules*, vol. 45, pp. 5881–5893.
10. Vorob'eva, A.I., Sagitova, D.R., Gorbunova, M.N., Muslukhov, R.R., Kolesov, S.V., Tolstikov, A.G. and Monakov, Yu.B. (2007) "Activity of diallylamido-bis(diethylamido)guanidinium chloride in radical polymerization reactions", *Polymer Science*, vol. 49, № 7–8. pp. 172–176.
11. Gordon, A.J. and Ford, R.A. (1972) "The chemist's companion" Wiley Interscience, New York.
12. Finemann, M. and Ross, S.D. (1950) "Linear method for determining monomer reactivity ratios in copolymerization", *Journal of Polymer Science*, vol. 5, pp. 259–284.
13. Kelen, T. and Tüdös, F. (1975) "Analysis of the linear methods for determining copolymerization reactivity ratios. I. A new improved linear graphic method", *Journal of Macromolecular Science – Chemistry*, vol. 9, no. 1. pp. 1–27.
14. Gorbunova, M.N. and Oshchepkova, T.E. (2009) "Copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with vinyl acetate", *Polymer Science*, vol. 51, no 9–10, pp. 345–400.
15. Gorbunova, M.N. (2010) "Copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with N-substituted maleimides", *Polymer Science*, vol. 52, no 7–8, pp. 473–479.
16. Gorbunova, M.N. and Karmanov, V.I. (2011) "Copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride with maleic acid", *Polymer Science*, vol. 53, no 4. pp. 162–165.
17. Gorbunova, M.N. and Borisova, I.A. (2016) "Copolymerization of 2,2-diallyl-1,1,3,3-tetraethylguanidinium chloride and alkyl methacrylates", *Polymer Science*, vol. 58, no 6, pp. 650–658.

#### Information about the authors

**Marina N. Gorbunova**, Doctor of Chemistry Sciences, Associate professor, Department of biochemistry and medical biotechnology, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 61990); Senior Researcher, Laboratory of biological active compounds, Institute of Technical Chemistry UB RAS – branch of PFRC UB RAS (3, Koroleva st., Perm, Russia, 614013), mngorb@yandex.ru.

**Marina N. Gorbunova**, Candidate of Chemistry Sciences, Senior Researcher, Institute of Technical Chemistry UB RAS – branch of PFRC UB RAS (3, Koroleva st., Perm, Russia, 614013), ngorb@yandex.ru.

**Darya D. Zagumennova**, Student, Department of biochemistry and medical biotechnology, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 61990), kashinadarina@yandex.ru.

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 16 February 2023; approved after reviewing 6 March 2023; accepted 6 March 2023.

Научная статья

УДК 543.422.3+543.452+544.722.2

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>

## Физико-химические свойства этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты

Юлия Борисовна Ельчищева, Ольга Александровна Посохина, Петр Тимофеевич Павлов  
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты исследования физико-химических свойств этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты (ЭТГ). Исследована растворимость реагента в этаноле, 0,1 моль/л растворе КОН, толуоле, хлороформе, гексане, воде методами спектрофотометрии, рефрактометрии и гравиметрии. На основании полученных результатов показано, что ЭТГ может быть использован в процессах флотации и экстракции. Кислотно-основные равновесия в растворах реагента изучены спектрофотометрическим методом. Полученные значения констант кислотной диссоциации ( $pK_{a1} = 7,56 \pm 0,14$ ;  $pK_{a2} = 13,48 \pm 0,22$ ) доказывают, что ЭТГ является слабой двухосновной кислотой. Изучена гидролитическая устойчивость реагента спектрофотометрическим методом. Результаты исследования показали, что растворы ЭТГ достаточно устойчивы во времени в щелочных средах: степень гидролиза в течение двух часов составляет 4,77%. Сталагмометрическим методом определена поверхностная активность реагента. Установлено, что ЭТГ является поверхностно-активным веществом.

**Ключевые слова:** ацилсульфонилгидразины; органические лиганды; растворимость; ультрафиолетовая спектрометрия; поверхностная активность.

**Для цитирования:** Ельчищева Ю.Б., Посохина О.А., Павлов П.Т. Физико-химические свойства этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 1. С. 21–31. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>

## Physico-chemical properties of ethyl ether N'-tosylhydrazide of oxalic acid

Yulia B. Elchishcheva, Olga A. Posokhina, Petr T. Pavlov  
Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** The results of a study of the physicochemical properties of N'-tosylhydrazide oxalic acid (ETH) ethyl ester are presented. The solubility of the reagent in ethanol, 0,1 mol/l KOH solution, toluene, chloroform, hexane, and water was studied by spectrophotometry, refractometry, and gravimetry. Based on the results obtained, it was shown that ETG can be used in flotation and extraction processes. Acid-base equilibria in reagent solutions were studied by spectrophotometric method. The obtained values of acid dissociation constants ( $pK_{a1} = 7,56 \pm 0,14$ ;  $pK_{a2} = 13,48 \pm 0,22$ ) prove that ETG is a weak dibasic acid. The hydrolytic stability of the reagent was studied by the spectrophotometric method. The results of the study showed that ETG solutions are quite stable in time in alkaline media: the degree of hydrolysis for two hours is 4,77%. The surface activity of the reagent was determined by the stalagmometric method. ETG has been found to be a surfactant.

**Key words:** acylsulfonylhydrazines; organic ligands; solubility; ultraviolet spectrometry; surface activity.

**For citation:** Elchishcheva Yu.B., Posokhina O.A. and Pavlov P.T. (2022) "Physico-chemical properties of ethyl ether N'-tosylhydrazide of oxalic acid", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 1, pp. 21–31. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-21-31>.



Обогащение и переработка бедного, трудно-обогатимого минерального сырья, извлечение ценных компонентов из техногенных отходов, очистка промышленных сточных вод от ионов цветных и тяжелых металлов предприятий различных отраслей, в особенности химической и предприятий цветной металлургии, являются важными аспектами в промышленном цикле.

Ведется обширный поиск новых эффективных реагентов для процессов концентрирования и разделения, позволяющих производить очистку минерализованных и сточных вод в одну ступень с достижением высокой степени извлечения целевых компонентов и обеспечением остаточных концентраций в соответствии с нормами ПДК.

При поиске эффективных реагентов для концентрирования металлоионов большой интерес представляют хелатообразующие лиганды, способные образовывать малорастворимые комплексы [1]. С этой точки зрения заслуживают внимания ацилсульфонилгидразины (АСГ) – соединения, содержащие в своем составе гидразидную группу, способную к образованию прочных комплексных соединений с ионами цветных металлов, и сульфонильную [2, 3]. Сульфонильная группа обладает сильной электроноакцепторной способностью и поэтому может активировать соседнюю аминогруппу, облегчая отрыв от нее протона, т.е. способна усиливать кислотные свойства соединения [4]. Сочетание данных групп создает перспективу в области поиска новых реагентов для концентрирования ионов металлов.

Л.Г. Чекановой с сотрудниками выполнен цикл работ по исследованию физико-химических и комплексообразующих свойств N-ацил-N'-(тозил)гидразиновой общей формулой

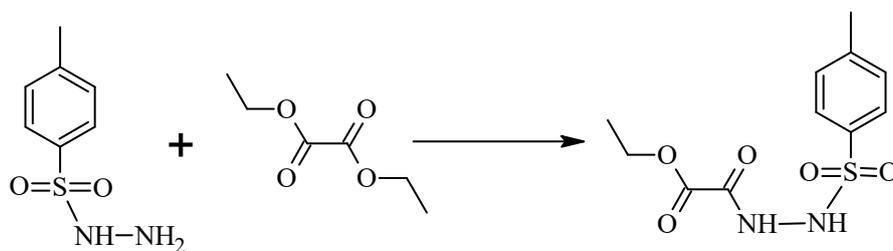
$RC(O)NHNHSO_2C_6H_4(CH_3)$ , где  $R = H, C_2H_5, C_3H_7, C_4H_9, C_6H_{13}, C_4H_9CH(C_2H_5), C_8H_{15}, C_{10}H_{21}, C_{12}H_{25}$  в аммиачных и щелочных средах с ионами цветных металлов (ЦМ) [5–7]. Было установлено, что свойства изучаемых соединений удовлетворяют требованиям, предъявляемым к потенциальным собирателям для ионной флотации цветных металлов. К настоящему времени АСГ зарекомендовали себя как перспективные хелатообразующие лиганды, образующие при комплексообразовании флотоактивные комплексы. Показана возможность использования реагентов в качестве собирателей для ионной флотации ЦМ [8, 9].

Представляет несомненный интерес исследование физико-химических и комплексообразующих свойств соединений, относящихся к ряду N-ацил-N'-(тозил)-гидразинов, отличающихся более простой и доступной в синтезе структурой ацильного радикала, которые могут быть перспективны как реагенты в промышленных процессах концентрирования ионов и минералов ЦМ.

В представленной работе изучены физико-химические и поверхностно-активные свойства этилового эфира N'-тозилгидразида щавелевой кислоты с целью исследования практического применения данного соединения в процессах концентрирования ионов ЦМ.

#### Объекты и методы

*Синтез реагента:* этиловый эфир N'-тозилгидразида щавелевой кислоты (ЭТГ) получен реакцией конденсации тозилгидразина с диэтилоксалатом в среде абсолютного метанола в присутствии метилата натрия [10] по схеме:



Строение реагента подтверждены данными ИК-, ЯМР  $^1\text{H}$ - спектроскопии и элементного анализа.

*Реактивы и оборудование:* в работе использованы стандартный  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л этанольный раствор ЭТГ, точную концентрацию которого устанавливали кондуктометрическим титрованием 0,1 моль/л раствором КОН [11]; растворы гидроксида калия (моль/л: 10,0; 1,0; 0,1; 0,01); раствор хлористоводородной кислоты (2,0 моль/л); растворители: этиловый спирт, гексан, толуол, хлороформ.

Для проведения спектрофотометрических исследований (определение растворимости ЭТГ в 0,1 моль/л КОН; изучение гидролитической устойчивости реагента в 0,1 моль/л КОН; исследование кислотно-основных равновесий) применяли спектрофотометр СФ-2000 (ОКБ-Спектр, Санкт-Петербург). Значения рН растворов реагента измеряли на рН-метре АНИОН 4100 (Инфраспак-Аналит, Новосибирск) с комбинированным электродом ЭСК-10603/7. Для определения точной концентрации ЭТГ выполняли кондуктометрическое титрование на кондуктометре SEVENMULTIS70-K (Mettler Toledo, Швейцария). Растворимость ЭТГ в толуоле, гексане, хлороформе и воде определяли гравиметрическим методом, используя сушильный шкаф LOIP LF 60/350-VS1 и аналитические весы фирмы ACCULAB (США). Ацилсульфонил-гидразины хорошо растворимы в этиловом спирте, поэтому поверхностное натяжение на границе раствор ЭТГ – воздух измеряли после-

довательным разбавлением спиртовых растворов реагента сталагмометрическим методом. Предварительно определяли поверхностное натяжение водно-спиртовых растворов без реагента.

### Результаты и обсуждение

Для оценки практического использования реагента в процессах концентрирования металлов необходимо изучить его растворимость в традиционно используемых растворителях. В качестве растворителей флотореагентов обычно используют воду, растворы кислот или щелочей, а экстрагентов – несмешиваемые с водой органические растворители (углеводороды, кислородсодержащие соединения или их смеси). Именно этими соображениями обусловлен выбор растворителей для ЭТГ.

Растворимость ЭТГ в воде, хлороформе, гексане и толуоле определяли гравиметрическим методом. Для этого в стеклянных бюксах готовили насыщенные растворы реагента и выдерживали их в термостатируемых условиях при  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. После фильтрации отбирали аликвоты (1,0 мл), упаривали в сушильном шкафу при температуре  $(105\text{--}110)^\circ\text{C}$  до постоянной массы. Растворимость  $S$  (г/л) рассчитывали по формуле

$$S = (m_2 - m_1) \cdot 1000,$$

где  $m_1$  – масса пустого бюкса, г;  $m_2$  – масса бюкса с веществом, г.

Растворимость ЭТГ в 0,1 моль/л растворе КОН определена спектрофотометрическим ме-

тодом в кварцевых кюветах с толщиной слоя 1,0 см [12]. С целью определения максимального светопоглощения зарегистрированы спектры поглощения раствора реагента в 0,1 моль/л КОН (рис. 1).

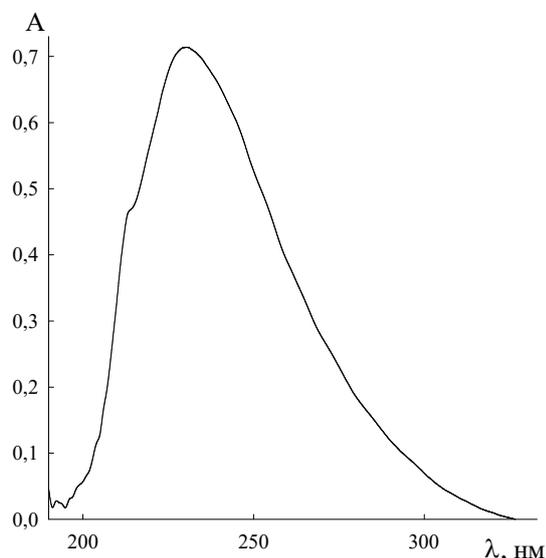


Рис. 1. Спектр поглощения  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора ЭТГ в 0,1 моль/л КОН,  $l = 1,0$  см

Из рис. 1 следует, что оптимальная длина волны составляет 237 нм. В оптимальных условиях построен градуировочный график для определения растворимости реагента в 0,1 моль/л КОН, по которому рассчитан средний молярный коэффициент светопоглощения, который составил  $8405 \text{ см}^2/\text{моль}$ . Для определения растворимости ЭТГ в 0,1 моль/л растворе КОН растворитель насыщали реагентом, термостатировали при температуре  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 24 часов. Насыщенный раствор фильтровали через фильтр с синей лентой и после разбавления аликвоты фильтрата 0,1 моль/л раствором КОН фотометрировали в оптимальных условиях при длине волны 237 нм.

Для определения растворимости в спирте применяли изотермический метод сечений профессора Р.В. Мерцлина [13], а в качестве измеряемого физического свойства, соответст-

венно, выступал показатель преломления жидкой фазы (растворителя). В стеклянные бюксы помещали одинаковое количество растворителя массой 0,5 г, вносили переменное количество реагента для создания достаточной серии смесей взвешиванием на аналитических весах ( $\pm 2 \cdot 10^{-4}$  г). Полученные смеси в закрытых бюксах термостатировали ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) и выдерживали для насыщения жидкой фазы реагентом, как минимум, в течение 24 ч при периодическом перемешивании. Воспроизводимость значений показателя преломления свидетельствует о достижении равновесия между жидкой и твердой фазами (рис. 2). Показатель преломления жидкой фазы определен с погрешностью  $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ .

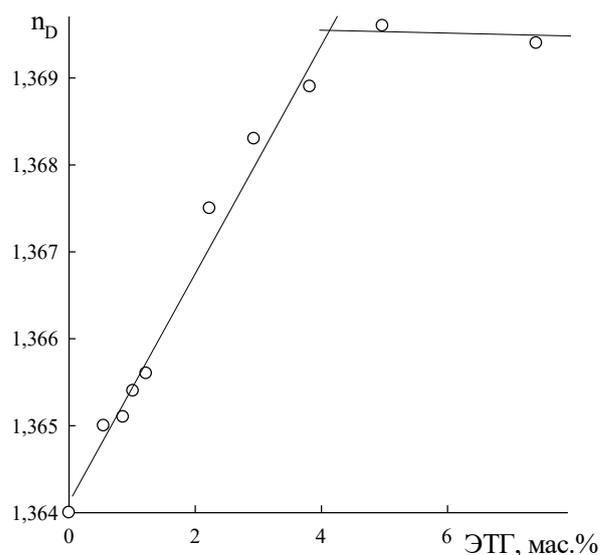


Рис. 2. Зависимость показателя преломления жидкой фазы ( $n_D$ ) от содержания ЭТГ

Данные о растворимости реагента приведены в табл. 1. ЭТГ хорошо растворяется в этиловом спирте, в водных растворах КОН, умеренно растворим – в воде, хлороформе и толуоле и совершенно не растворим в гексане.

Одним из основных требований к реагентам для использования их в процессах концентрирования цветных металлов является их ста-

бильность, в том числе химическая, во времени. Так как комплексообразование АСГ с ионами цветных металлов преимущественно происходит в щелочных средах, то актуально определить устойчивость ЭТГ в щелочных растворах. Устойчивость реагента к гидролизу определяли

спектрофотометрическим методом [14]. Щелочной раствор ЭТГ с концентрацией  $5,0 \cdot 10^{-5}$  моль/л в 0,1 моль/л растворе КОН термостатировали при температуре  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение двух часов.

Таблица 1

Растворимость ЭТГ в некоторых средах при 20 °С, моль/л (г/л)

вода	гексан	0,1 моль/л КОН	Этиловый спирт	толуол	хлороформ
$5,94 \cdot 10^{-3}$ (1,70)	Не растворяется	$5,51 \cdot 10^{-2}$ (15,8)	$1,71 \cdot 10^{-1}$ (49,7)	$4,19 \cdot 10^{-3}$ (1,20)	$6,64 \cdot 10^{-3}$ (1,90)

Оптическую плотность исследуемых растворов измеряли на фоне холостого опыта при длине волны 237 нм. Расчет степени гидролиза ЭТГ осуществляли по формуле

$$\alpha = \frac{|A_0 - A_t|}{A_0} \cdot 100,$$

где  $A_0$  – оптическая плотность раствора реагента в начальный момент времени;  $A_t$  – оптическая плотность раствора реагента после термостатирования.

По истечении двух часов качественный состав изучаемого раствора ЭТГ был постоянен, что подтверждают идентичные спектры поглощения (рис. 3). Зависимость степени гидролиза от времени выдерживания раствора реагента отображена в табл. 2. По полученным результатам можно сделать вывод, что реагент проявляет достаточно высокую устойчивость в щелочной среде в течение двух часов.

Таблица 2

Степень гидролиза ( $\alpha$ , %)

0,01 моль/л раствора ЭТГ в 0,1 моль/л КОН

$\tau$ , мин	10	20	40	60	90	120
$\alpha$ , %	0,26	0,94	1,25	1,55	4,03	4,77

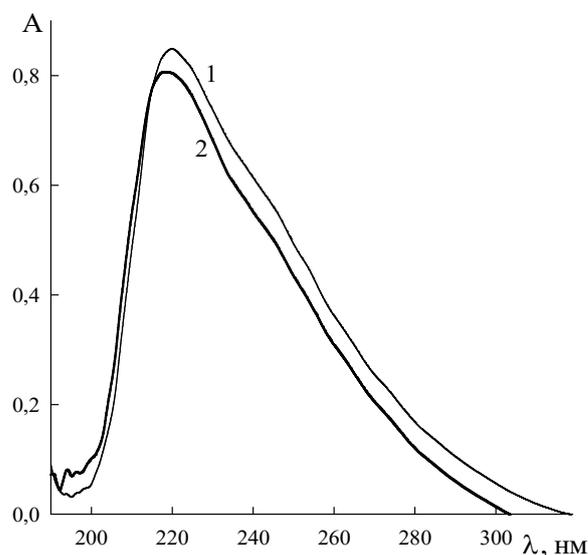


Рис. 3. Спектр поглощения  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л раствора ЭТГ в 0,1 моль/л КОН в начале (1) и через 120 мин (2) после начала исследования

Адсорбция ЭТГ на границе раздела водно-спиртовой раствор – воздух изучена с помощью сталагмометрического метода [15]. На рис. 4. приведена изотерма поверхностного натяжения ЭТГ. Падающая ветвь кривой отражает процесс постепенного заполнения поверхностного слоя молекулами ПАВ, при этом адсорбция достигает предельного значения, а дальнейшее введение ПАВ приводит к образованию мицелл в объеме раствора и менее значительно сказыва-

ется на величине поверхностного натяжения раствора.

Введение реагента в диапазоне концентраций от  $7,81 \cdot 10^{-5}$  до  $1,0 \cdot 10^{-2}$  моль/л значительно повлияло на значения поверхностного натяжения по сравнению с фоновым раствором. ЭТГ снижает поверхностное натяжение на границе стандартный раствор – воздух более чем в два раза, поэтому реагент можно отнести к ПАВ.

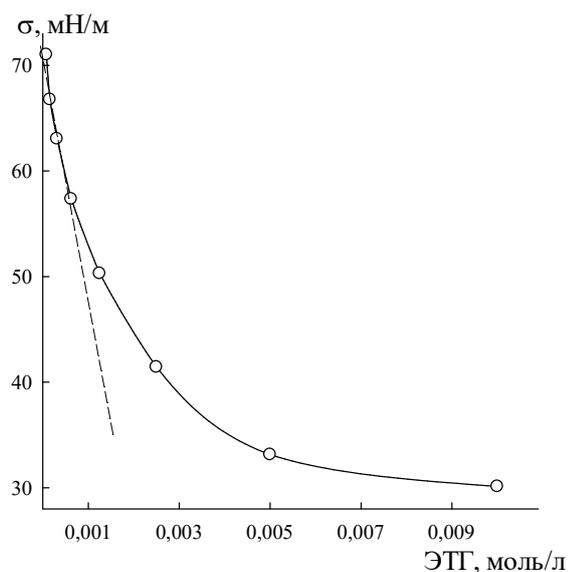


Рис. 4. Изотерма поверхностного натяжения на границе водно-спиртовой раствор ЭТГ – воздух

Значение тангенса угла наклона прямой, касательной к изотерме поверхностного натяжения водно-щелочных растворов ЭТГ в области малых концентраций соответствует значению поверхностной активности реагента. Расчет производили по формуле

$$G = -\frac{d\sigma}{dC} \text{ (при } c \rightarrow 0).$$

Согласно проведенным расчетам, поверхностная активность ЭТГ составляет  $0,035 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ . Полученное значение согласуется с литературными данными по поверхностной активности анионных ПАВ ( $0,02-0,05 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{моль}$ ).

При проведении флотации важным фактором являются характер и свойства образующихся пен. Вследствие этого интерес представляет изучение устойчивости образующихся пен и изменение их объема во времени [16]. В цилиндр объемом 50,0 мл с притертой пробкой наливали 25,0 мл раствора реагента и встряхивали в течение 60 с. После прекращения встряхивания отмечали изменения объема пены во времени. Аналогичные опыты проводили с растворами ЭТГ, разбавленными в 2, 4, 8, 16 раз и т.д. (до тех концентраций пока реагент устойчивой пены давать не будет – получающаяся пена мгновенно разрушается).

Результаты исследования представлены в табл. 4. При концентрации ЭТГ  $5,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л происходит быстрое разрушение пены, но при уменьшении концентрации образуются малоустойчивые пены, поэтому при проведении флотации потребуется введение дополнительного пенообразователя.

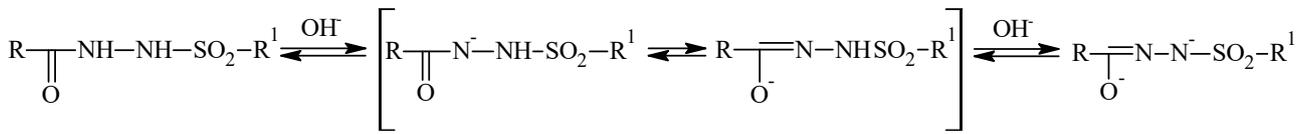
Таблица 3

**Изменение объема пены, образованной растворами ЭТГ во времени**

С <sub>ЭТГ</sub> , моль/л	τ, с				
	0	5	10	30	60
$2,50 \cdot 10^{-3}$	5	3	1	0	0
$1,25 \cdot 10^{-3}$	6	3	2	1	0
$6,25 \cdot 10^{-4}$	8	6	5	3	1
$3,13 \cdot 10^{-4}$	5	3	2	1	0
$1,56 \cdot 10^{-4}$	5	3	2	1	0
$7,80 \cdot 10^{-5}$	3	2	1	0	0
$3,90 \cdot 10^{-5}$	5	3	2	0	0

Изучение протолитических равновесий в растворах реагента важно не только для понимания распределения различных форм в зависимости от кислотности среды, но также способствует прогнозированию области рН существования комплексных соединений. N-ацил-N'-сульфонилгидразины могут выступать как сла-

бые двухосновные NH-кислоты (H<sub>2</sub>L), которые можно охарактеризовать соответствующими константами кислотной диссоциации K<sub>a1</sub> и K<sub>a2</sub>.



Процесс кислотной ионизации сульфонилгидразидов сопровождается первоначальным отрывом протона NHSO<sub>2</sub>-фрагмента за счет большего акцепторного действия SO<sub>2</sub> по сравнению с группой CO [17].

Для определения констант диссоциации использован спектрофотометрический метод. Поскольку различные формы реагента имеют разное поглощение, УФ-спектры поглощения растворов ЭТГ в зависимости от pH отличаются (рис. 5), что подтверждает наличие в растворах реагента кислотно-основных равновесий.

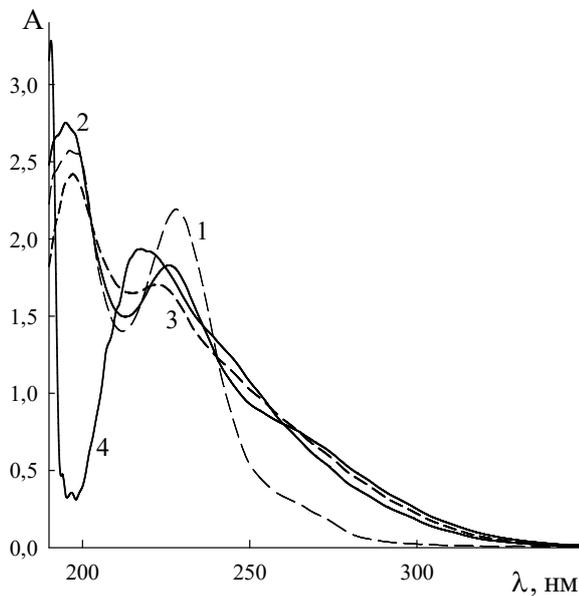


Рис. 5. Спектры поглощения 0,01 моль/л растворов ЭТГ при pH 4,4 (1); 7,4 (2); 10,0 (3); 13,0 (4).

Для расчета значений pK<sub>a1</sub> и pK<sub>a2</sub> исследуемого реагента изучена зависимость оптической плотности растворов от значений pH среды при λ = 215 нм.

В растворе теоретически при изменении кислотности наблюдаются следующие равновесия:

Для растворов ЭТГ на кривой A ~ f(pH) наблюдали 2 перегиба: первый – в области pH = 7,0–8,2, соответствующий диссоциации реагента по I ступени, а второй при pH = 12,8–15,0, соответствующий диссоциации по II ступени (рис. 6).

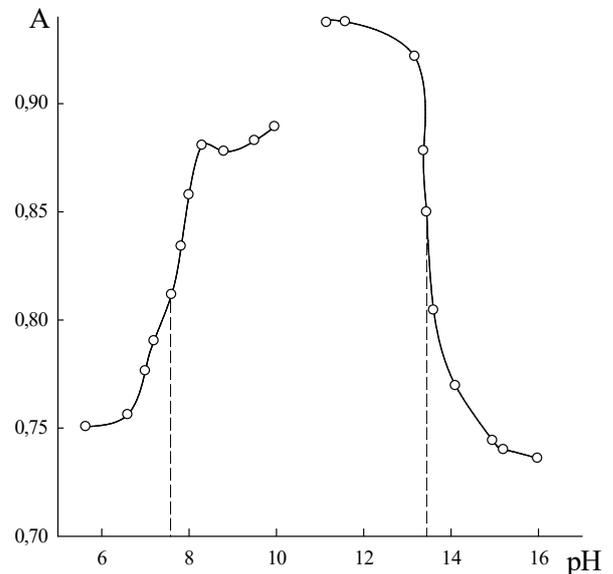


Рис. 6. Определение констант диссоциации ЭТГ (C<sub>ЭТГ</sub> = 1,0 · 10<sup>-2</sup> моль/л; λ = 215 нм)

Рассчитанные значения pK<sub>a1</sub> и pK<sub>a2</sub> составили 7,56 ± 0,14 и 13,48 ± 0,22. Из полученных значений pK<sub>a</sub> видно, что исследуемый реагент – слабая двухосновная кислота. Можно предположить, что комплексы исследуемого реагента с ионами цветных металлов должны существовать в щелочных средах. Построены распределительные диаграммы для протолитических равновесных форм реагента в зависимости от кислотности среды [18] (рис. 7).

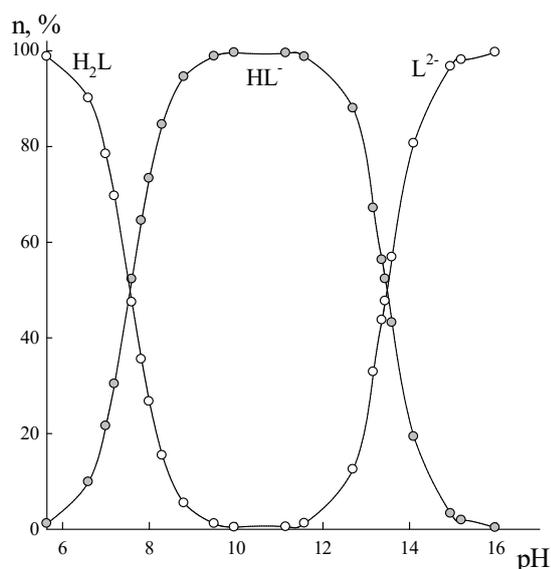


Рис. 8 Диаграмма распределения равновесных форм ЭТГ

### Заключение

1. Результаты исследования растворимости ЭТГ показали, что реагент предположительно можно использовать в процессах экстракции и флотации.
2. Исследованы кислотно-основные равновесия реагента. Доказано, что ЭТГ является

слабой двухосновной кислотой. Полученные значения  $pK_{a_1}$  и  $pK_{a_2}$  составили соответственно  $7,56 \pm 0,14$  и  $13,48 \pm 0,22$ . Можно предположить, что комплексообразование ЭТГ с ионами цветных металлов должно существовать в щелочных средах.

3. Спектрофотометрическое исследование гидролитической устойчивости показало, что реагент достаточно устойчив в щелочных средах.

4. Результаты исследований поверхностно-активных свойств показали, что поверхностная активность реагента ( $G, H \cdot m^2/моль$ ) составила  $-0,035$ . Поэтому ЭТГ проявляет поверхностную активность в водно-щелочных растворах.

5. Полученные результаты исследований стабильности пенообразования показали, что ЭТГ образует небольшие по объему и малоустойчивые пены, поэтому при проведении флотации, возможно, потребуется введение дополнительного пенообразователя.

### Список источников

1. Радусев А.В., Чеканова Л.Г., Чернова Г.В. Реагенты для ионной флотации цветных металлов // Цветные металлы. 2005. № 7. С. 34–41.
2. Коган В.А., Зеленцов В.В., Гэрбэлэу Н.В. и др. Современные представления о строении координационных соединений переходных металлов с органическими производными гидразина // Журнал неорганической химии. 1986. Т. 31, № 11. С. 2831–2843.
3. Мачхошвили Р.И. Координационные соединения металлов с гидразинами: дис.... д-ра хим.н. Москва: ИОНХ, 1983. 457 с.
4. Оаз С. Химия органических соединений серы. М., Химия, 1975.
5. Чеканова Л.Г., Воронкова О.А., Радусев А.В., и др. Комплексообразование N-ацил-N'-(n-толуолсульфонил)гидразинов с ионами цветных металлов в аммиачных средах // Журнал неорганической химии. 2013. Т. 58, № 1. С. 112–116. <https://doi.org/10.7868/S0044457X13010042>.
6. Ельчищева Ю.Б., Кириевская В.О., Павлов П.Т., и др. Физико-химические и комплексообразующие свойства ацилсульфонилгидразинов // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2016. Т. 7, №. 2. С. 92–101.

7. Васильев В.С., Ельчищева Ю.Б., Павлов П.Т., и др. Физико-химические свойства N-(2,2-диметилпропаноил)-N'-(п-толуолсульфонил)гидразина // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 3. С. 212–218. <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2019-3-212-218>.
8. Чеканова Л.Г., Радушев А.В., Воронкова О.А., и др. Извлечение ионов цветных металлов из аммиачных растворов с N-ацил-N'-(п-толуол-сульфонил)гидразинами // Химическая технология. 2011. № 12. С. 754–59.
9. Воронкова О.А., Чеканова Л.Г., Щербань М.Г., и др. Комплексообразование и флотация ионов цветных металлов из щелочных растворов с N-ацил-N'-(п-толуолсульфонил)-гидразинами // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 12. С. 2005–2010.
10. Черных В.П., Макурина В.И., Петюнин П.А. Синтез и свойства аренсульфогидразидов щавелевой кислоты и ее производных // Журнал органической химии. 1975. Т. 11, № 3. С. 556–562.
11. Радушев А.В., Чеканова Л.Г., Гусев В.Ю., Сазонова Е.А. Определение гидразидов и 1,2-диацилгидразидов алифатических карбоновых кислот кондуктометрическим титрованием // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, №5. С. 496–499.
12. Булатов М. И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. М.: Химия, 1986. 431с.
13. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1969. 122 с.
14. Бернштейн. И.Я., Каминский Ю.Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 116 с.
15. Абрамзон А.А., Бочаров В.В., Гаевой Г.М. Поверхностно-активные вещества. Л.: Химия, 1979. 376 с.
16. Елесина В.В., Балабанова С.С., Верещагин А.Л. Получение и изучение устойчивости пен. Бийск: БТИ АлтГТУ, 2018. 17 с.
17. Черных В.П., Макурина В.И. Реакционная способность замещенных амидов и гидразидов ароматических сульфокислот // Реакционная способность органических соединений. 1977. Т. 14, № 1, С. 106–115.
18. Пешкова В.М., Громова М.И. Методы абсорбционной спектроскопии в аналитической химии. М.: Высшая школа, 1976. 280 с.

#### Информация об авторах

**Юлия Борисовна Ельчищева**, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [analitik1973@mail.ru](mailto:analitik1973@mail.ru)

**Ольга Александровна Посохина**, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [posohinaolya@gmail.com](mailto:posohinaolya@gmail.com)

**Петр Тимофеевич Павлов**, кандидат химических наук, доцент кафедры органической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), pavlovpt@mail.ru

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 8 февраля 2023 г.; одобрена 16 февраля 2023 г.; принята к публикации 6 марта 2023 г.

#### References

1. Radushev, A.V., Chekanova, L.G. and Chernova, G.V. (2005), "Reagents for ion flotation of non-ferrous metals", *Non-ferrous metals*, no. 7, pp. 34–41 (in Russ.).
2. Kogan, V.A., Zelentsov, V.V., Gerbeleu, N.V. and Lukov, V.V. (1986), "Modern concepts of the structure of coordination compounds of transition metals with organic derivatives of hydrazine", *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 31, no. 11, pp. 2831–2843 (in Russ.).
3. Machkhoshvili R.I. (1983) "Coordination compounds of metals with hydrazines", Dissertation of Doctor of Chemical Sciences, Moscow.
4. Oae Sh. (1975) "Chemistry of organic sulfur compounds", Khimiya, Moscow. (in Russ.).
5. Chekanova, L.G., Voronkova, O.A., Radushev, A.V., Pavlov, P.T. and Baigacheva, E.V. (2013), "Complexation of N-acyl-N'-(p-toluenesulfonyl) hydrazines with non-ferrous metal ions in ammonia media", *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 58, no. 1, pp. 112–116 (in Russ.).
6. Yelchischeva, Yu.B., Kirievskaya, V.O., Pavlov, P.T. and Chalova Yu.I. (2016), "Physicochemical and complexing properties of acylsulfonylhydrazines", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 7, no. 2, pp. 92–101. (in Russ.).
7. Vasiliev, V.S., Yelchishcheva, Yu.B., Pavlov, P.T., Chekanova, L.G. (2019), "Physicochemical properties of N-(2,2-dimethylpropanoyl) -N'-(p-toluenesulfonyl) hydrazine", *Bulletin of Perm University. Series "Chemistry"*, Perm, vol. 9, no. 3, pp.212–218. (in Russ.).
8. Chekanova, L.G., Radushev, A.V., Voronkova, O.A., Baigacheva, E.V. and Alekhina, Yu.V. (2011), "Extraction of non-ferrous metal ions from ammonia solutions with N-acyl-N'-(p-toluene-sulfonyl) hydrazines", *Chemical Technology*, vol. 12, no. 12, pp. 754–759. (in Russ.).
9. Voronkova, O.A., Chekanova, L.G., Scherban, M.G., Radushev, A.V., Pavlov, P.T. and Chernova, G.V. (2012), "Complexation and flotation of non-ferrous metal ions from alkaline solutions with N-acyl-N'-(p-toluenesulfonyl) -hydrazines", *Journal of Applied Chemistry*, vol. 85, no. 12, pp. 2005–2010. (in Russ.).
10. Chernykh, V.P., Makurina, V.I. and Petyunin, P.A. (1975), "Synthesis and properties of arenesulfohydrazides of oxalic acid and its derivatives", *Journal of Organic Chemistry*, vol 11, no. 3, pp.556–562. (in Russ.).
11. Radushev, A.V., Chekanova, L.G., Gusev, V.Yu. and Sazonova, E.A. (2000), "Determination of hydrazides and 1,2-diacylhydrazines of aliphatic carboxylic acids by conductometric titration", *Journal of Analytical Chemistry*, vol 55, no. 5, pp. 496–499. (in Russ.).

12. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986), *Practical guidance on photometric methods of analysis*, Moscow: Chemistry. (in Russ.).
13. Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969), *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyumnogofaznogostoyaniyamnogokomponentnyhsistem* [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multicomponent systems], Saratov University, Saratov. (in Russ.).
14. Bernstein, I. Ya., Kaminsky, Yu. L. (1986), *Spectrophotometric analysis in organic chemistry*, Khimiya, Leningrad. (in Russ.).
15. Abramzon, A.A., Bocharov, V.V. and Gaevoy, G.M. (1979), *Surfactants*, Khimiya, Leningrad. (in Russ.).
16. Elesina, V.V., Balabanova, S.S. and Vereshchagin. A.L. (2018), *Obtaining and studying the stability of foams*, Altay State Technical University, Biysk. (in Russ.).
17. Chernykh, V.P. and Makurina, V.I. (1977), “Reactivity of substituted amides and hydrazides of aromatic sulfonic acids”, *Reactivity of organic compounds*, vol. 14, no. 1, pp. 106–115 (in Russ.).
18. Peshkova, V.M. and Gromova, M.I. (1976) *Absorption spectroscopy in analytical chemistry*, Vyshaya Shkola, Moscow (in Russ.).

#### Information about the authors

**Yulia B. Elchischeva**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukirevast., Perm, Russia, 614990), [analtik1973@mail.ru](mailto:analtik1973@mail.ru).

**Olga A. Posokhina**, student, Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State University (15, Bukirevast., Perm, Russia, 614990), [posohinaolya@gmail.com](mailto:posohinaolya@gmail.com)

**Petr T. Pavlov**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Organic Chemistry, Perm State University (15, Bukirevast., Perm, Russia, 614990), [pavlovpt@mail.ru](mailto:pavlovpt@mail.ru)

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 8 February 2023; approved after reviewing 16 February 2023; accepted 6 March 2023*

Научная статья

УДК 544.636

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-32-39>

## Определение физико-химических свойств угольного электрода в водных растворах высокой плотности

Сергей Павлович Шавкунов, Ирина Петровна Сидорова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Исследовано электрохимическое поведение углеродного электрода высокой степени чистоты в водных растворах повышенной плотности. Полученные данные с помощью методов циклической вольтамперометрии и импедансной спектроскопии свидетельствуют о том, что при выборе системы следует учитывать структуру, состав и характеристики растворов электролитов.

**Ключевые слова:** угольный электрод; водные растворы высокой плотности; суперконденсатор.

**Для цитирования:** Шавкунов С.П., Сидорова И.П. Определение физико-химических свойств угольного электрода в водных растворах высокой плотности // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 1. С. 32–39. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-32-39>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-32-39>

## Determination of physicochemical properties of a carbon electrode in high-density aqueous solutions

Sergey P. Shavkunov, Irina P. Sidorova

Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** The electrochemical behavior of a high-purity carbon electrode in high-density aqueous solutions has been investigated. The data obtained using the methods of cyclic voltammetry and impedance spectroscopy indicate that the structure, composition and characteristics of electrolyte solutions should be taken into account when choosing a system.

**Key words:** carbon electrode; high density aqueous solutions; supercapacitor

**For citation:** Shavkunov, S.P. and Sidorova, I.P. (2023) "Determination of physicochemical properties of a carbon electrode in high-density aqueous solutions", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 1, pp. 32–39. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-1-32-39>.



Создание новых электродных материалов с высокоразвитой поверхностью и разработка новых типов растворов электролитов привели к появлению современных накопителей электрической энергии – суперконденсаторов.

Материалом электродов для таких устройств выступает высокодисперсный углерод, который имеет разветвленную систему пор от нано- до микроразмеров. Поры являются транспортными каналами, формирующимися на этапе изготовления электродов и обеспечивающими во время заряда суперконденсатора подвод ионов электролита к порам меньших размеров [1,2]. В результате этого на границе раздела фаз электрод/электролит образуется двойной электрический слой (ДЭС) [3–5].

Истинная площадь поверхности углеродных материалов достигает сотни и тысячи квадратных метров на грамм материала, тем самым повышая возможность для реализации удельной емкости электродов на уровне 50–150 Ф/г и выше [6–9].

Одна из задач эксперимента сводилась к тому, чтобы определить область идеальной поляризуемости (ОИП) угольного электрода в зависимости от состава и физико-химических характеристик электролитов. ОИП характеризуется отсутствием окислительно-восстановительных процессов, когда вся подведенная энергия тратится на зарядание ДЭС. Параметры этой области связаны со свойствами поверхности электрода и электролитом, в котором проводится исследование.

Электролиты, используемые в суперконденсаторах, должны иметь максимально высокое напряжение и температуру разложения, и широкую стабильную область потенциалов для получения высокой удельной энергии. Основ-

ными недостатками электролитов являются низкое разрядное напряжение, узкая рабочая температурная область, высокая коррозионная активность [10]. Поэтому изучение электрохимических свойств угольного материала сопровождается выбором подходящей среды.

Также стоит отметить, что в зависимости от диаметра поры в электродном материале ион электролита при заряде может адсорбироваться на ней в разном сольватическом состоянии. Причем размер сольватной оболочки зависит от ионного радиуса, т.е. важной практической задачей является подбор раствора электролита с размерами ионов совместимыми с шириной пор [11].

В качестве растворов электролитов (водных растворов высокой плотности) могут использоваться растворы как на основе одной соли, так и нескольких солей. Добавка в виде гранулированного или хлопьевидного хлорида кальция увеличивает плотность базовой жидкости и снижает ее стоимость. Для получения более высоких значений плотностей необходимо использовать соли на основе бромистого кальция или цинка, или же сочетание нескольких солей [12].

### Экспериментальная часть

В качестве рабочего электрода использовали цилиндрический угольный электрод высокой степени чистоты, применяемый при проведении спектрального анализа. Определение электрохимических свойств проводили в водных растворах высокой плотности, состав которых представлен в табл. 1.

Эксперимент включал программу измерений: хронопотенциометрию, электрохимическую импедансную спектроскопию (ЭИС), получение циклических вольтамперных (ЦВА)

кривых и ЭИС на финальном шаге для фиксации изменения свойств поверхности после вольтамперных измерений. Исследования кинетики электродных процессов проводились с использованием универсального автоматизированного прибора для электрохимических исследований марки «Solartron-1280С» в трех-электродной ячейке, где угольный электрод являлся рабочим, электродом сравнения был хлорсеребряный, вспомогательным – платиновый сетчатый цилиндр. Интервал потенциалов для вольтамперных измерений изменяли в зависимости от условий эксперимента для определения области идеальной поляризуемости, скорость развертки потенциала установили равной 5 мВ/с. Измерение импеданса производили в области высоких и средних частот (от 18000 до 0.1 Гц) при амплитуде переменного сигнала 5 мВ в режиме правильно разомкнутой цепи, то есть измерение ЭИС происходило между рабочим и электродом сравнения.

Таблица 1

**Составы и плотности исследуемых растворов**

Параметр раствора	№1	№2	№3	№4
ZnCl <sub>2</sub>	-	39.3	56.7	-
CaCl <sub>2</sub>	32.4	18.2	-	-
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	27.6	14.0	-	-
ZnBr <sub>2</sub>	-	-	-	68.0
CaBr <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-	-	20.6	4.0
Вода (дист.)	40.0	28.5	22.7	28.0
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1.61	1.81	2.00	2.20

**Обсуждение результатов**

С помощью метода хронопотенциометрии (рис. 1) определили, что изменение скорости потенциала во времени снижается, и значение потенциала выходит на стационарное состояние, что позволяет продолжить далее ком-

плексные измерения при фиксированном потенциале.

Для определения ОИП проводили серию экспериментов, в которых устанавливались граничные потенциалы начала катодных процессов – восстановления и анодных – окисления. Дальнейшие опыты проводились с учетом отсутствия окислительно-восстановительных реакций (ОВР) на угольном электроде.

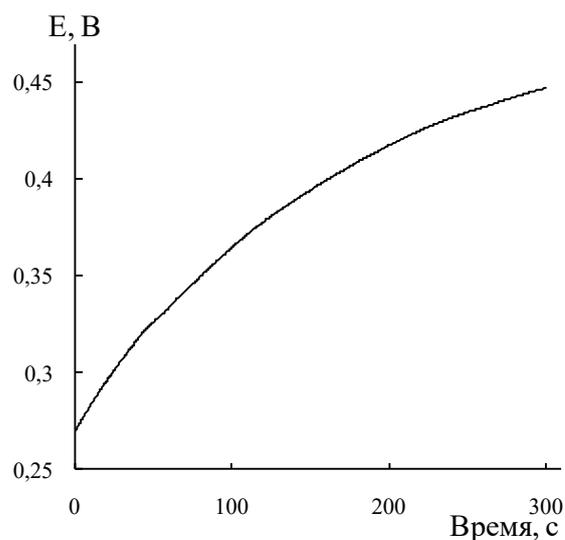


Рис.1. Изменение потенциала угольного электрода во времени

На рис.2 представлены ЦВА-кривые, в ходе снятия которых после обнаружения границы анодного потенциала, увеличивали постепенно значение катодного потенциала при снятии следующих кривых.

Значение ОИП определяли экспериментально на основе пограничных потенциалов для диапазона, в котором отсутствуют ОВР. Было показано, что водные растворы высокой плотности оказывают положительное влияние на ОИП угольного электрода, увеличиваяе на 30–40 % (1,3–1,4 В) по сравнению с растворами серной кислоты (1,0 В) [13–15].

Если мы выходим за рамки ОИП, то сталкиваемся с дополнительными процессами (рис. 3),

характерными для растворов № 3 и № 4. В данных растворах содержатся соли хлористого и бромистого цинка, бромистого кальция, ионы этих солей могут принимать участие в ОВР, на которые расходуются определенные количества электричества.

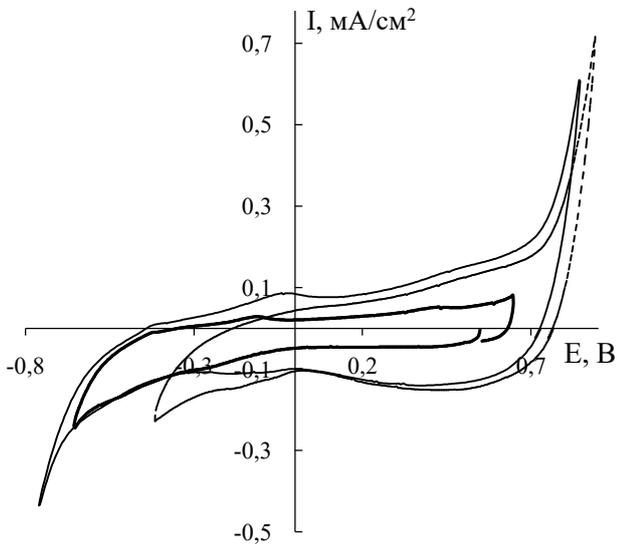
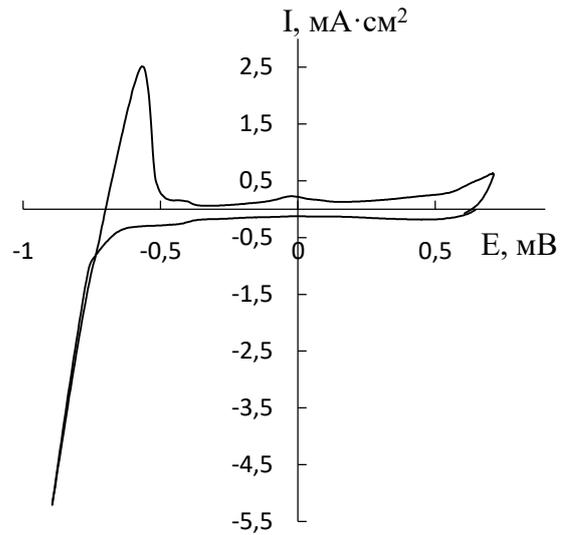
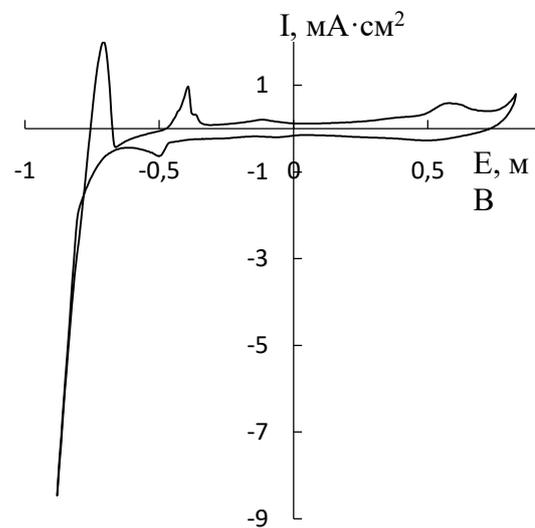


Рис.2. ЦВА-кривые, полученные в растворе № 2

В катодной области при потенциалах отрицательнее  $-0,8$  В наряду с выделением водорода происходит восстановление цинка (рис. 3 а, б). Обратный ход ЦВА-кривой показывает, что данный процесс осаждения цинка на поверхности угольного электрода обратим, и количественно окисляется до ионов цинка при потенциалах аноднее  $-0,7$  В. При наличии ионов брома в водном электролите наблюдается специфическая адсорбция этих ионов, которая приводит к перезарядке поверхности в области потенциалов  $-0,66$  В и последующему окислению этих ионов при потенциале  $-0,42$  В (рис. 3 б). Наличие данных ОВР демонстрирует необходимость исследования электрохимических свойств системы угольный электрод / электролит в более широком интервале потенциалов, чем ОИП.



а



б

Рис.3. ЦВА-кривые, полученные в растворе № 3 (а) и № 4 (б)

Состояние поверхности угольного электрода оценивали по характеру отклика электродного импеданса (рис. 4).

Годографы импеданса, как исходной поверхности, так и после вольтамперометрии представляют собой полуокружность, переходящую на низких частотах в наклонную линию, что говорит о диффузионном контроле процесса.

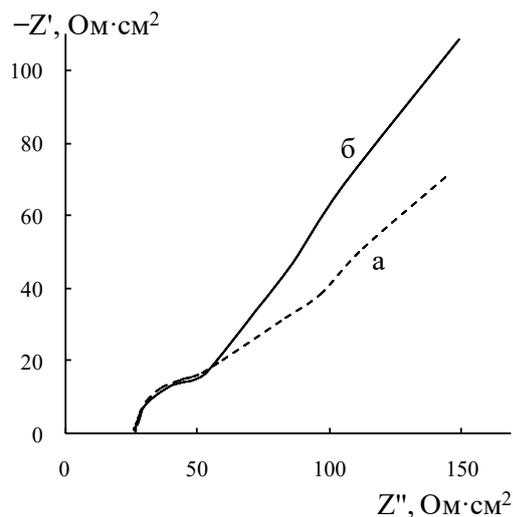


Рис. 4. Годографы импеданса в координатах Найквиста для исходной поверхности угольного электрода (а) и после снятия ЦВА кривых (б) в растворе № 2

Для моделирования этих процессов использовали эквивалентную схему Рэндлса–Эршлера [16], но с включением в цепь элемента постоянной фазы (рис.5) вместо импеданса Варбурга:

CPE1 зависит от частоты переменного тока компонентов электродного импеданса, которые отражают наличие стадий массопереноса и переноса заряда. В зависимости от показателя  $p$  параметр может соответствовать емкости (при  $p=1$ ), коэффициенту импеданса Варбурга при  $p=1/2$ , сопротивлению ( $p=0$ ) и индуктивности (при  $p= -1$ ). Значения параметров ЭЭС для водных растворов электролитов представлены в табл. 2.

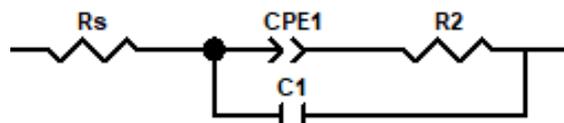


Рис. 5 Эквивалентная электрическая схема:

$R_s$  – сопротивление раствора ( $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$ );

$R_2$  – сопротивление переноса заряда ( $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$ );

$C_1$  – емкость ДЭС ( $\text{Ф}/\text{см}^2$ );

$CPE1$  – элемент постоянной фазы, адмитанс которого равен  $Y_{CPE} = Q(j\omega)^p$ , ( $\text{Ф}/\text{см}^2\cdot\text{C}^{(1-p)}$ ) [17].

Таблица 2

Параметры ЭЭС, рассчитанные для исследуемых растворов

Интервал, В	$R_s$ , $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	До снятия ЦВА кривых				После снятия ЦВА кривых			
		$CPE-T$ , $\text{мФ}/\text{см}^2\cdot\text{C}^{(1-p)}$	$CPE-P$	$R_2$ , $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	$C_1$ , $\text{мФ}/\text{см}^2$	$CPE-T$ , $\text{мФ}/\text{см}^2\cdot\text{C}^{(1-p)}$	$CPE-P$	$R_2$ , $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	$C_1$ , $\text{мФ}/\text{см}^2$
Раствор № 1									
-0,10; 0,90	25,240	7,61	0,482	9,779	0,098	8,30	0,507	14,567	0,195
-0,30; 0,71		9,44	0,522	15,919	0,202	8,55	0,497	14,617	0,229
-0,56; 0,54		7,84	0,492	15,654	0,200	7,23	0,475	14,379	0,229
-0,79; 0,51		6,67	0,471	15,846	0,203	6,05	0,454	14,450	0,221
Раствор № 2									
-0,65; 0,65	26,613	9,23	0,364	12,069	0,107	8,52	0,518	13,597	0,177
-0,42; 0,89		9,74	0,343	12,444	0,124	6,25	0,370	12,536	0,110
-0,76; 0,85		5,46	0,454	12,346	0,139	5,47	0,392	12,118	0,100
Раствор № 3									
-0,34; 0,52	24,207	7,44	0,511	14,027	0,158	7,36	0,502	13,129	0,170
-0,38; 0,72		10,10	0,483	15,086	0,267	9,50	0,471	13,390	0,216
-0,61; 0,74		9,36	0,459	12,950	0,313	9,26	0,462	12,527	0,235
0,89; 0,70		9,08	0,479	12,723	0,295	8,45	0,440	12,859	0,243
Раствор № 4									
-0,44; 0,67	10,638	13,38	0,486	5,315	0,201	13,13	0,493	6,016	0,373
-0,38; 0,72		13,32	0,521	6,436	0,328	13,59	0,509	6,389	0,380
-0,75; 0,64		13,42	0,501	6,315	0,289	13,23	0,507	6,231	0,415
-0,88; 0,83		12,67	0,529	6,483	0,311	12,92	0,525	6,859	0,424

Для данных условий (рис. 4) значение элемента СРЕ-Р моделирует диффузионные ограничения при накоплении заряда, связанные со структурой поверхности рабочего электрода и продолжительным временем доставки ионов из раствора электролита. Емкость характеризует количество электричества, накапливаемое в ДЭС.

При проведении ЦВА измерений (табл. 2) значительных изменений параметров не происходит, что говорит о воспроизводимости системы при циклах заряд–разряд. Обращая внимание на емкость ДЭС, нужно сказать, что большее значение характерно для раствора № 4, а наименьшее – для № 2.

## Выводы

Было показано, что использование водных растворов высокой плотности в качестве электролитов увеличивает ОИП угольного электрода на 30–40 % по сравнению с растворами серной кислоты. В предложенных растворах увеличивалось значение удельной емкости ДЭС с 0.1 до 0.4 мФ/см<sup>2</sup>. В процессе детализации механизма кинетики поверхности угольного электрода было представлено наличие диффузионных процессов, которые необходимо учитывать при выборе состава электролита. Дальнейшие исследования данных составов необходимо продолжить для получения электролита, который проявлял бы большую электрохимическую инертность.

## Список источников

1. Xu B., Chen Y., Wei G., et al. Activated carbon with high capacitance prepared by NaOH activation for supercapacitors // *Materials Chemistry and Physics*. 2010. Vol. 124. P. 504–509. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.07.002>.
2. Liao W.-C., Liao F.-S., Tsai C.-T., et al. Preparation of activated carbon for electric double layer capacitors // *China Steel Technical Report*. 2012. №. 25. P. 36–41.
3. Kötz R., Carlen M. Principles and applications of electrochemical capacitors // *Electrochemical*. 2000. Vol. 45. P. 2483–2498. [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(00\)00354-6](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(00)00354-6).
4. Bleda-Martinez M.J., Macia-Agullo J.A., Lozano-Castello D., et al. Role of surface chemistry on electric double layer capacitance of carbon materials // *Carbon*. 2005. Vol. 43, №. 13. P. 2677–2684. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2005.05.027>.
5. Lota G., Centeno T.A. Frackowiak, et al. Improvement of the structural and chemical properties of a commercial activated carbon for its application in electrochemical capacitors // *Electrochimica Acta*. 2008. Vol. 53. P. 2210–2216. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2007.09.028>.
6. Шведене Н.В., Чернышев Д.В., Плетнев И.В. Ионные жидкости в электрохимических сенсорах // *Российский химический журнал*. 2008. Т. 52, № 2. С. 80–91.
7. Стюхин В.В., Лапшин Э.В. Графеновый суперконденсатор // *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2011. С. 7.
8. Zhang and L.L. Zhao X.S. Carbon-Based Materials as Supercapacitor Electrodes // *Chemical Society Reviews*. 2009. Vol. 38, № 9. P. 2520–2531.

9. Вольфкович Ю.М., Рычагов А.Ю., Сосенкин В.Е. и др. Силовой электрохимический суперконденсатор на основе углеродных нанотрубок // Электрохимическая энергетика. 2008. Т. 8, № 2. С. 106–110.
10. Корыта К., Дворжак И., Богачкова В. Электрохимия. М.: Мир, 1977.
11. Тарасевич М.Р. Электрохимия углеродных материалов. М.: Наука, 1984.
12. Токунов В. И., Саушин А.З. Технологические жидкости и составы повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004.
13. Рычагов А.Ю., Вольфкович Ю.М. Особенности взаимодействия активированных угольных электродов с растворами серной кислоты // Электрохимия. 2007. Т. 43, № 11. С. 1343–1349.
14. Yuge R., Manako T., Nakahara K. The production of an electrochemical capacitor electrode using holey single-wall carbon nanohorns with high specific surface area // Carbon. 2012. Vol. 50. P. 5569–5573. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.08.005>.
15. *Supercapacitors. Materials, Systems, and Applications* / Ed. By M. Lu, F. Begun, E. Frackowiak. Wiley, 2013.
16. Астахов И.И., Графов Б.М., Кабанов Б.Н. Кинетика сложных электрохимических реакций. М.: Наука, 1981.
17. Brug G.J., van der Eeden A.L.G., Sluyters-Rehbach M., et al. The analysis of electrode impedances complicated by the presence of a constant phase element // Journal of Electroanalytical Chemistry. 1984. Vol. 176, № 1–2. P.275–295. [https://doi.org/10.1016/S0022-0728\(84\)80324-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0728(84)80324-1).

#### Информация об авторах

**Сергей Павлович Шавкунов**, кандидат химических наук, доцент кафедры физической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [shavkunov@psu.ru](mailto:shavkunov@psu.ru)

**Ирина Павловна Сидорова**, студент, кафедра физической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 9 января 2023 г.; одобрена 24 января 2023 г.; принята к публикации 6 марта 2023 г.

#### References

1. Xu, B., Chen, Y., Wei, G., Cao, G., Zhang, H. and Yang, Y. (2010), “Activated carbon with high capacitance prepared by NaOH activation for supercapacitors”, *Materials Chemistry and Physics*, vol. 124, pp. 504–509.
2. Liao, W.-C., Liao, F.-S., Tsai, C.-T. and Yang, Y.-P. (2012), “Preparation of activated carbon for electric double layer capacitors”, *China Steel Technical Report*, no. 25, pp. 3641.
3. Kötz, R. and Carlen, M. (2000), “Principles and applications of electrochemical capacitors”, *Electrochemical*, vol. 45, pp. 2483–2498.

4. Bleda-Martinez, M.J., Macia-Agullo, J.A., Lozano-Castello, D., Morallon, E., Cazorla-Amoros, D. and Linares-Solano, A. (2005) "Role of surface chemistry on electric double layer capacitance of carbon materials", *Carbon*, vol. 43, pp. 2677–2684.
5. Lota, G., Frackowiak C.T.A. and Stoeckli, F. (2008), "Improvement of the structural and chemical properties of a commercial activated carbon for its application in electrochemical capacitors", *Electrochimica Acta*, vol. 53, pp. 2210–2216.
6. Shvedene, N.V., Chernyshev, D.V. and Pletnev, I.V. (2008) , "Ionic liquids in electrochemical sensors", *Rossiiskij himicheskij zhurnal*, vol. 52, no. 2, 2008, pp. 80–91. (In Russ.).
7. Styukhin, V.V. and Lapshin, E.V. (2011), *Graphene supercapacitor*. In: Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality", p. 7. (In Russ.).
8. Zhang, L.L. and Zhao, X.S. (2009), "Carbon-Based Materials as Supercapacitor Electrodes," *Chemical Society Reviews*, vol. 38, no. 9, pp. 2520–2531.
9. Wolfkovich, Yu.M., Rychagov, A.Yu., Sosenkin, V.E. and Krestinin, A.V (2008), "Power electrochemical supercapacitor based on carbon nanotubes", *Electrochemical Power Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 106–110. (In Russ.).
10. Koryta, K., Dvorzhak, I. and Bogachkova, V. (1977) *Electrochemistry*, Mir, Moscow. (In Russ.).
11. Tarasevich, M.R. (1984) *Electrochemistry of carbon materials*, Nauka, Moscow. (In Russ.).
12. Tokunov, V.I. and Saushin, A.Z. (2004), *Technological fluids and compositions for increasing the productivity of oil and gas wells*, Nedra-Business Center, Moscow. (In Russ.).
13. Rychagov, A.Yu. and Wolfkovich, Yu.M. (2007), "Features of interaction of activated carbon electrodes with sulfuric acid solutions", *Electrochemistry*, vol. 43, no. 11, pp. 1343–1349. (In Russ.).
14. Yuge, R. (2012), "The production of an electrochemical capacitor electrode using holey single-wall carbon nanohorns with high specific surface area", *Carbon*, vol. 50, pp. 5569–5573.
15. Lu, M., Begun, F. and Frackowiak, E. (ed.) (2013) *Supercapacitors. Materials, Systems, and Applications*, Wiley.
16. Astakhov, I.I., Grafov, B.M., and Kabanov, B.N. (1981) *Kinetics of complex electrochemical reactions*, Nauka, Moscow. (In Russ.).
17. Brug, G.J., van der Eeden, A.L.G., Sluyters-Rehbach, M. and Sluyters, J.H. (1984), "The analysis of electrode impedances complicated by the presence of a constant phase element", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, vol. 176, № 1-2, pp. 275–295.

#### Information about the authors

**Sergey P. Shavkunov**, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Physical Chemistry, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990), shavkunov@psu.ru

**Irina P. Sidorova**, student, Department of Physical Chemistry, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614990).

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 9 January 2023; approved after reviewing 24 January 2023; accepted 6 March 2023*

## 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 оттиск 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 – полуторный. 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 формируются 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 формируется 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 оборудования 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 опубликованные 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 удается, 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 13 (2023)*

*Выпуск 1*

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 23.03.2023. Выход в свет 30.03.2023  
Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 5,35. Тираж 500 экз. Заказ 44



***Пермский государственный национальный исследовательский университет***  
***Управление издательской деятельности***  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. (342) 239-66-36  
*Полиграфический отдел.* Тел. (342) 239-65-47

Распространяется бесплатно и по подписке.

Подписка на журнал осуществляется через сайт подписного агентства «Урал-пресс»  
[https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8650360/?sphrase\\_id=396138](https://www.ural-press.ru/catalog/97266/8650360/?sphrase_id=396138). Подписной индекс 41026