

Учредитель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (614068, 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.

Аишхмина 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.

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

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

Сафармамадзода Сафармамад Муборакишо, д-р хим. наук, профессор, Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан.

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

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

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Founder: Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614068, 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.

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

Денисова С.А., Заборских М.В., Заболотных С.А.

Влияние катамина АБ на комплексообразование бромпирогаллолового красного с ионами скандия 201

Куимова Ж.Ю., Аликина Е.Н.

Экстракция кадмия в расслаивающейся системе дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода 213

Максимов А.Ю., Павлова Ю.А.

Комплексные полимерные препараты для защиты семян зерновых культур сельскохозяйственных растений 224

Исправления к статье «Определение физико-химических свойств угольного электрода в водных растворах высокой плотности» 234

Исправления к статье «Активация угольного электрода соединениями цинка» 236

CONTENTS

Svetlana A. Denisova, Mariya Zaborskikh M.V., Svetlana A. Zabolotnykh Catamine AB effect on the complex formation of bromopyrogallol red with scandium ions	201
Zhanna Yu. Kuimova, Ekaterina N. Alikina Cadmium extraction in the delaminating system diphenylguanidine – benzoic acid – water	213
Aleksandr Y. Maksimov, Yulia A. Pavlova Complex polymer preparations for the protection of seeds of grain crops of agricultural plants	224
Erratum to the article « Determination of physicochemical properties of a carbon electrode in high-density aqueous solutions»	234
Erratum to the article «Activation of carbon electrode with zinc compounds»	236

— АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ —

Научная статья

УДК 535.243+661.185.232

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>

Влияние катамина АБ на комплексообразование бромпирогаллолового красного с ионами скандия

Светлана Александровна Денисова¹, Мария Владимировна Заборских¹, Светлана Александровна Заболотных^{1,2}

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

²«Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Россия

Аннотация. Изучены закономерности комплексообразования бромпирогаллолового красного с ионами скандия в двойной системе и в присутствии катионогенного поверхностно-активного вещества катамина АБ. Определен оптимальный интервал pH комплексообразования. Регистрированы спектры поглощения красителя и его комплексов с ионами скандия в двойных системах и в присутствии катамина АБ при различных значениях pH и концентрациях ПАВ. Методами насыщения и изомолярных серий при pH 5,90 и 6,40 установлено соотношение между металлом и реагентом в комплексах без катамина АБ и в его присутствии. Методом Бабко определены условные константы устойчивости полученных комплексов, построены градуировочные графики, рассчитаны коэффициенты молярного светопоглощения. При pH 6,40 изучено влияние мешающих ионов.

Ключевые слова: катамин АБ; бромпирогаллоловый красный; скандий; фотометрия

Для цитирования: Денисова С.А., Заборских М.В., Заболотных С.А. Влияние катамина АБ на комплексообразование бромпирогаллолового красного с ионами скандия // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 4. С. 201–212. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>

Catamine AB effect on the complex formation of bromopyrogallol red with scandium ions

Svetlana A. Denisova¹, Mariya V. Zaborskih¹, Svetlana A. Zabolotnykh

¹Perm State University, Perm, Russia

²Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract. The regularities of complexation of bromopyrogallol red with scandium ions in the dual system and in the presence of cationic surfactant catamin AB have been studied. The optimum pH interval of complexation was determined. The light absorption spectra of the dye and its complexes with scandium ions in dual systems and in the catamin AB presence at different pH values and surfactant concentrations were recorded. The ratio between metal ion and reagent in complexes without and in the presence of catamin AB was determined by saturation and isomolar series methods at pH 5,90 and 6,40. The conditional stability constants of the obtained complexes were determined by the Babko method, calibration graphs were constructed, and molar light absorption coefficients were calculated. The influence of interfering ions was studied at pH 6,40.

Key words: catamine AB; bromopyrogallol red; scandium; photometry.

For citation: Denisova, S.A., Zaborskih, M.V. and Zabolotnykh, S.A. (2023) “Catamine AB effect on the complex formation of bromopyrogallol red with scandium ions”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 4, pp. 201–212. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-201-212>.



Спектрофотометрические методы анализа, благодаря своей универсальности, надежности и доступности, широко применяются для определения веществ различной природы. Для повышения чувствительности и селективности фотометрических реакций, помимо поиска и синтеза новых реагентов, используется прием улучшения условий взаимодействия ионов металлов с металлохромными реагентами при введении третьего компонента, например ПАВ. Такие реакции имеют большую практическую ценность и используются для разработки эффективных спектрофотометрических методов определения многих элементов [1, 2]. Известно, что в присутствии ПАВ может наблюдаться резкое увеличение чувствительности и контрастности цветных реакций, увеличение интервала рН комплексообразования за счет изменения реакционной способности, протолитических и таутомерных свойств, экстрагируемости, а также растворимости органических реагентов и их комплексов с ионами металлов [3–5].

Действие ионов ПАВ на аналитические системы связано с образованием в растворе нейтральных гидрофобно-гидратированных ионных ассоциатов реагент (хелат) – ПАВ [6]. Природа изменения цветности при образовании таких соединений исследована весьма мало, однако известные к настоящему времени факторы позволяют считать, что это вызвано в первую очередь лиганд–лигандным взаимодействием [7]. Такое взаимодействие при образовании разнолигандных соединений тем более вероятно, что известна способность ПАВ образовывать с красителями ассоциаты, приводящие к изменению цвета последних. Согласно литературным данным [8, 9], при образовании разнолигандных комплексов присоединение

катионных ПАВ к реагенту осуществляется за счет электростатического и гидрофобного взаимодействия.

Комплексообразование металлов с органическими реагентами в присутствии ПАВ может сопровождаться 2–10-кратным увеличением интенсивности поглощения раствора и дополнительным батохромным сдвигом в спектрах на 20–100 нм. Указанные спектральные изменения, а также увеличение чувствительности и селективности фотометрических определений являются следствием изменения типа гидратации частиц в растворе и связанных с этим следующих процессов: увеличением числа координируемых ионом металла лигандов; сдвигом интервала рН комплексообразования в более кислую область; увеличением устойчивости хелатов в водном растворе; многоцентрового взаимодействия в системе $Me - R - ПАВ$ [10].

Наиболее часто улучшение оптических характеристик цветных реакций ионов металлов с хромоформными реагентами наблюдается в присутствии катионных поверхностно-активных веществ (КПАВ). Большинство накопленных к настоящему времени данных касается использования индивидуальных ПАВ: цетилпиридиния, цетилтриметиламмония и других [11–15]. Однако исследования, проводимые на кафедре аналитической химии Пермского университета, показали перспективность использования промышленно выпускаемого КПАВ алкилбензилдиметиламмоний хлорид (катамин АБ) для модифицирования цветных реакций ионов алюминия, меди, циркония, лантана с некоторыми красителями трифенилметанового ряда [16–18]. В связи с этим представляло интерес продолжить данные исследования.

Для обнаружения и количественного определения скандия нет достаточно селективных реагентов. Это объясняется тем, что скандий по свойствам занимает промежуточное положение между алюминием и элементами иттриевой подгруппы и, кроме того, во многих отношениях сходен с другими трех- и четырехвалентными элементами (например, железом и торием) [19].

Целью данной работы является изучение закономерностей комплексообразования бромпирогаллолового красного с ионами скандия в присутствии КПАВ катамина АБ.

Экспериментальная часть

В работе использовали катионогенное поверхностно-активное вещество – алкилбензилдиметиламмоний хлорид (Kat, ТУ 9392-098-92665598-2011, М.м. 357,0±10,0), общей формулы $[C_nH_{2n+1}N^+(CH_3)_2CH_2C_6H_5] \cdot Cl^-$, где $n = 10-18$, основное вещество – 49,0–51,0 мас. %. Растворы с концентрациями 0,13и 0,013моль/л готовили соответствующим разбавлением исходного раствора.

Трифенилметановый краситель бромпирогаллоловый красный, (БПК, $C_{19}H_{12}Br_2O_9S$, М.м. 558,16 г/моль) использовали в виде 0,05%-ного ($8,96 \cdot 10^{-4}$ моль/л) раствора в 50%-ном спирте.

Раствор нитрата скандия с концентрацией 0,1 моль/л готовили растворением точной навески соли $Sc(NO_3)_3$ (ч.д.а.) в воде. Для спектрофотометрических исследований последовательным разбавлением исходного раствора готовили раствор с концентрацией $7,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Для поддержания значения рН в образцах использовали ацетатно-аммиачные буферные растворы с рН 1,89–7,56.

Спектры растворов регистрировали на спектрофотометре СФ-2000, градуировочные гра-

фики строили с помощью спектрофотометра ЮНИКО 1201, использовали кюветы на 1 см.

Для выяснения оптимального интервала рН комплексообразования регистрировали спектры поглощения растворов БПК и его комплексов с ионами скандия при различных значениях рН в присутствии ПАВ и без него на фоне воды и красителя. Для этого в мерные колбы на 25,0 мл вводили 2,5 мл БПК ($8,96 \cdot 10^{-4}$ моль/л), 3,0 мл буферного раствора и 1,0 мл раствора $Sc(NO_3)_3$ ($7,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л). Для изучения комплексообразования в присутствии ПАВ вводили 0,5–1,0 мл раствора катамина АБ с различной концентрацией.

Расчет кажущихся коэффициентов молярного поглощения проводили по градуировочным графикам. Для этого в ряд мерных колб на 25,0 мл вносили 6,0 мл раствора БПК, 3,0 мл буферного раствора с рН 2,90; 5,90 и 6,40, от 0,25 до 2,50 мл раствора скандия, 0,5 или 1,0 мл 0,13 моль/л раствора катамина АБ и доводили дистиллированной водой до метки.

Для определения условных констант устойчивости комплекса скандия с БПК в двойной и тройной системах в мерные колбы на 25,0 мл вводили 2,4 мл раствора БПК, 3,0 мл буферного раствора с рН 5,90 (6,40), 1,0 мл раствора скандия, 0,5 (1,0) мл 0,13 моль/л катамина АБ, в случае тройной системы, и доводили до метки дистиллированной водой. Брали аликвоту полученного раствора и разбавляли в мерных колбах на 25,0 мл в 2 и в 5 раз. Затем фотометрировали исходный раствор в кювете толщиной 1 см, разбавленный в 2 раза раствор – в кювете толщиной 2 см, разбавленный в 5 раз – 5 см. Расчет вели по формулам:

$$\beta'_{MR_n} = \frac{100(q^n - 1)}{\Delta(pnC_M)^n}, \Delta = \frac{A - A_q}{A}$$

где β'_{MR_n} – условная константа устойчивости светопоглощающего комплекса, q – разбавление, n – стехиометрический коэффициент, p – кратный избыток, C_M – концентрация металла в растворе, Δ – отклонение от основного закона светопоглощения вследствие диссоциации комплекса, A и A_q – оптические плотности исходного и разбавленного растворов [20].

Результаты и обсуждение

Для изучения условий комплексообразования БПК со Sc^{3+} в двойной системе и в присутствии катамина АБ проведен визуальный скрининг изменения окраски реагента и образующихся комплексов при различных значениях рН. Исследования показали, что наиболее высокая контрастность между окраской реагента и его комплекса с ионами $Sc(III)$ в двойной системе наблюдается в интервале при рН 5,90 и 6,40. В присутствии ПАВ комплексообразование БПК с ионами скандия происходит и в более кислой среде – при рН 2,90.

При значениях рН 2,90, 5,90 и 6,40 зарегистрированы спектры светопоглощения растворов БПК и его комплексов с ионами $Sc(III)$ (рис. 1). Оптические характеристики реагента и образующихся комплексов в двойной системе обобщены в табл. 1.

Анализ спектров поглощения показал, что кислотность среды существенно влияет на положение максимума реагента. При рН 2,90 максимум светопоглощения БПК находится при 435 нм (рис. 1, кривая 1), а при рН 5,90 и 6,40 (кривые 2, 3) происходит его смещение в длинноволновую область до 557 нм. Комплексообразование в кислой среде практически отсутствует (рис. 1, кривая 4), оптическая плотность комплексов на фоне реагента составляет 0,014. Контрастность фотометрической реакции в системе БПК – Sc наблюдается в области рН, близкой к 6.

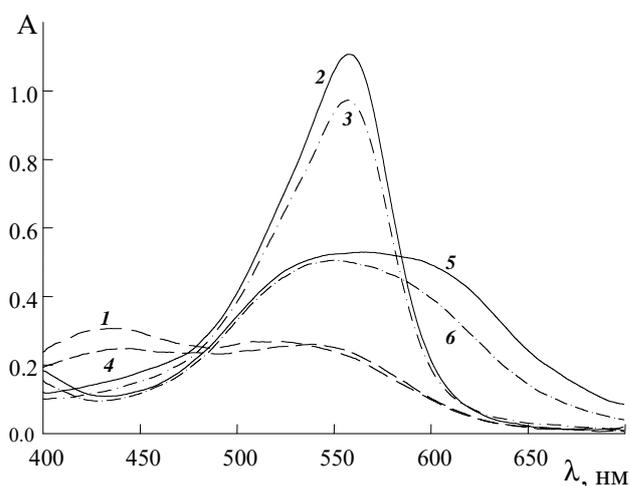


Рис. 1. Спектры светопоглощения растворов БПК (1–3) и его комплексов со Sc^{3+} (4–6) на фоне воды при рН: 2,90 (1, 4); 5,90 (2, 5); 6,40 (3, 6) ($C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

Таблица 1

Оптические характеристики БПК и его комплексов со скандием

($C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

рН	БПК (на фоне воды)		БПК – Sc (на фоне воды)		БПК – Sc (на фоне реагента)	
	λ_{max} , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	λ_{max} , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	λ_{max} , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$
2,90	435	0,307	445, 538	0,248, 0,261	570	0,014
5,90	557	1,106	564	0,529	616	0,348
6,40	557	0,973	550	0,505	610	0,232

Так как введение ПАВ существенно влияет на оптические характеристики комплексов органический реагент – металл, рассмотрена за-

висимость окраски комплексов скандия с БПК в зависимости от концентрации катамина АБ. Визуальные исследования показали, что при

содержании катамина АБ $5,2 \cdot 10^{-4}$ моль/л и выше растворы комплексов в интервале рН 2,90–6,40 приобретают синюю окраску, что говорит о сдвиге полосы поглощения комплекса в длинноволновую область. Наибольшая контрастность в окраске реагента и комплексов при рН 2,90 наблюдается при содержании ПАВ $5,2 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

На рис. 2 представлены спектры светопоглощения комплексов БПК с ионами скандия в присутствии катамина АБ, полученные при рН 2,90. Оптические характеристики реагента и его комплексов при различных концентрациях катамина АБ обобщены в табл. 2.

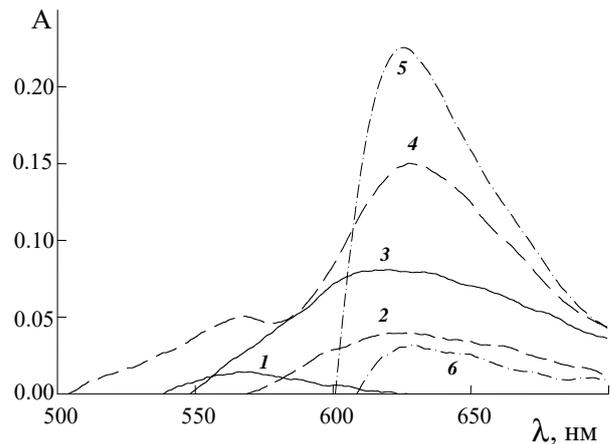


Рис. 2. Спектры светопоглощения комплексов Sc^{3+} с БПК в присутствии катамина АБ, моль/л: 0,0 (1); $2,6 \cdot 10^{-5}$ (2); $5,2 \cdot 10^{-5}$ (3); $2,6 \cdot 10^{-4}$ (4), $5,2 \cdot 10^{-4}$ (4); $2,6 \cdot 10^{-3}$ (5), $5,2 \cdot 10^{-3}$ (6) (рН 2,90; $C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л)

Таблица 2

Оптические характеристики БПК и его комплексов со скандием в присутствии катамина АБ

($C_{\text{БПК}} = 8,4 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $C_{Sc} = 2,8 \cdot 10^{-5}$ моль/л; рН = 2,90)

Система	БПК – Кат		БПК – Sc – Кат			
	на фоне воды		на фоне воды		на фоне БПК – Кат	
	λ_{max} , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	λ_{max} , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$	λ_{max} , нм	$A_{\lambda_{\text{max}}}$
рН 2,90						
0	435	0,307	445, 538	0,248, 0,261	570	0,014
$2,6 \cdot 10^{-5}$	440	0,349	547	0,286	626	0,040
$5,2 \cdot 10^{-5}$	437, 532	0,346, 0,322	553	0,320	620	0,081
$2,6 \cdot 10^{-4}$	445, 582	0,278, 0,427	588	0,473	627	0,150
$5,2 \cdot 10^{-4}$	452, 583	0,244, 0,543	587	0,512	635	0,164
$2,6 \cdot 10^{-3}$	580	0,913	584	0,647	625	0,226
$5,2 \cdot 10^{-3}$	580	0,927	580	0,834	628	0,032
рН 5,90						
0	557	1,106	564	0,529	616	0,348
$2,6 \cdot 10^{-4}$	566	1,122	570	0,499	612	0,353
$2,6 \cdot 10^{-3}$	580	1,196	586	0,582	633	0,368
$5,2 \cdot 10^{-3}$	580	1,150	583	0,561	635	0,350
рН 6,40						
0	557	0,973	550	0,505	610	0,232
$2,6 \cdot 10^{-5}$	558	0,936	567	0,423	629	0,222
$2,6 \cdot 10^{-3}$	580	1,028	588	0,528	636	0,289
$5,2 \cdot 10^{-3}$	580	1,106	585	0,541	635	0,302
$2,6 \cdot 10^{-2}$	581	1,113	582	0,631	635	0,242

Представленные результаты позволяют сделать вывод, что при рН 2,90 введение ПАВ приводит к существенным изменениям на кривых светопоглощения красителя. На спектрах

БПК при отсутствии катамина АБ присутствует один максимум при 435 нм. При $5,2 \cdot 10^{-5}$ моль/л катамина АБ появляется второй пик при 532 нм. Повышение концентрации ПАВ приводит к

увеличению интенсивности второго максимума и смещению его в длинноволновую область до 580 нм. Комплексообразование ионов скандия с БПК при этом значении рН в двойной системе практически отсутствует. В присутствии катамина АБ наблюдается батохромный сдвиг максимума светопоглощения комплексов с 570 до 625–635 нм, интенсивность светопоглощения которых максимальна при концентрации катамина АБ $2,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л. При рН 2,90 для развития окраски комплексов достаточно 20 минут.

В оптимальных условиях построен градуировочный график (рис. 3), которому соответствует уравнение прямой, полученное методом наименьших квадратов:

$$A = 0,0216 \cdot C_{Sc} + 0,056 \quad (R^2 = 0,9961).$$

По полученной зависимости рассчитывали коэффициент молярного светопоглощения в тройной системе, который составил $2,7 \cdot 10^4$.

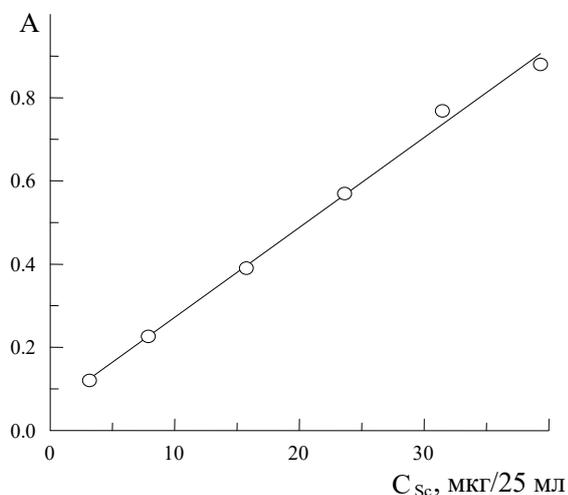


Рис. 3. Градуировочный график для системы Sc – БПК – Kat (рН = 2,90; $C_{БПК} = 2,2 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $C_{Kat} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $l = 1$ см; $\lambda = 625$ нм)

Следует отметить, что в присутствии катамина АБ появляется возможность определения Sc^{3+} с БПК в кислой среде (рН около 3,00), что позволяет повысить селективность определения, так как для комплексообразования БПК с

ионами металлов в большинстве случаев является оптимальной область рН около 6,00.

Ранее по результатам визуального скрининга установлено, что наибольшая контрастность цветных реакций в двойной системе и в присутствии ПАВ наблюдается в области рН около 6. При рН 5,90 и концентрациях катамина АБ меньше, чем $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л в растворах комплексов выпадали осадки.

При значениях рН 5,90 и 6,40 зарегистрированы спектры светопоглощения растворов БПК и его комплексов с ионами скандия в двойной системе и в присутствии катамина АБ. Оптические характеристики реагента и образующихся комплексов в системе БПК – Sc – Kat при рН 5,90 и 6,40 обобщены в табл. 2.

Как видно из результатов, введение ПАВ в области рН 5,90–6,40 практически не влияет на интенсивность полосы светопоглощения реагента, вызывая на спектрах БПК небольшой сдвиг длины волны максимального светопоглощения в длинноволновую область на 23–24 нм. Наиболее высокое светопоглощение при рН 5,90 наблюдается при концентрации катамина АБ $2,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л, а при рН 6,40 – $5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Для развития окраски комплексов при рН 5,90 достаточно 10 мин для системы с катамином АБ и 30 мин для двойной системы. При рН 6,40 развитие окраски комплексов в обеих системах происходит в течение 20 мин.

Методами изомолярных серий и насыщения в оптимальных условиях комплексообразования БПК с ионами скандия установлено, что в системе БПК – Sc образуется комплекс состава 2:1, а при введении в двойную систему катамина АБ число координируемых лигандов увеличивается до трех.

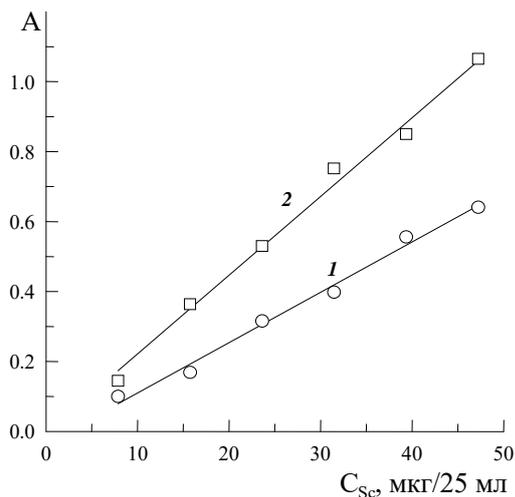


Рис. 4. Градуировочные графики при pH 5,90:

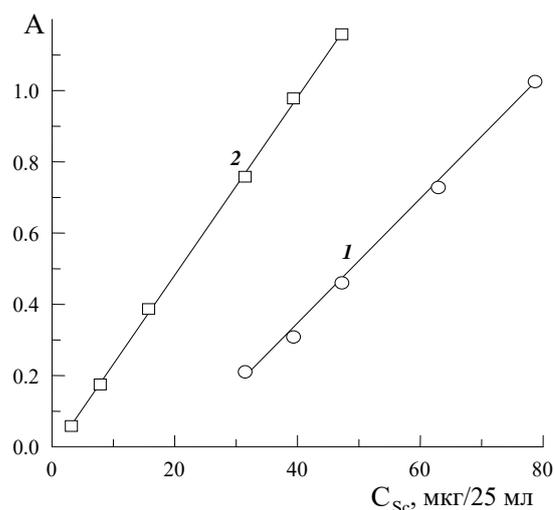
(1) БПК – Sc ($l = 1$ см; $\lambda = 616$ нм);(2) БПК – Sc–Kat ($l = 1$ см; $\lambda = 633$ нм) $(C_{\text{БПК}} = 2,15 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $C_{\text{Kat}} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

Рис. 5. Градуировочные графики при pH 6,40:

(1) БПК – Sc ($l = 1$ см; $\lambda = 610$ нм);(2) БПК – Sc–Kat ($l = 1$ см; $\lambda = 635$ нм). $(C_{\text{БПК}} = 2,15 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $C_{\text{Kat}} = 5,2 \cdot 10^{-3}$ моль/л)

Коэффициенты молярного светопоглощения ϵ для двойной и тройной систем рассчитывались по градуировочным графикам, представленным на рис. и 8.

Методом наименьших квадратов рассчитаны уравнения прямых, соответствующих построенным градуировочным графикам. По методу

Бабко определены условные константы устойчивости и коэффициенты молярного светопоглощения комплексов в двойной и тройной системах при pH 5,90 и 6,40. Результаты расчетов коэффициентов молярного светопоглощения ϵ и констант устойчивости комплексов ионов скандия с БПК обобщены в табл. 4.

Таблица 4

Оптические характеристики комплексов БПК – Sc и БПК – Sc–Kat при pH 5,90 и 6,40

Система	λ , нм	Уравнение градуировочного графика	R^2	ϵ	β'
pH 5,90					
БПК – Sc	616	$y = 0,0144 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0345$	0,9910	$1,40 \cdot 10^4$	$8,07 \cdot 10^{11}$
БПК – Sc–Kat	633	$y = 0,0225 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0078$	0,9861	$2,40 \cdot 10^4$	$1,13 \cdot 10^{16}$
pH 6,40					
БПК – Sc	610	$y = 0,0175 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,3611$	0,9976	$1,11 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^{11}$
БПК – Sc–Kat	635	$y = 0,025 \cdot C_{\text{Sc}} - 0,0181$	0,9996	$2,60 \cdot 10^4$	$2,46 \cdot 10^{16}$

Известно, что БПК не является селективным реагентом и со многими ионами металлов образует интенсивно окрашенные комплексы. Поэтому для разработки методики спектрофотометрического определения скандия с БПК и катамином АБ рассмотрено влияние на оптическую плотность ряда мешающих ионов. Наибо-

лее высокая чувствительность определения скандия с БПК в присутствии катамина АБ наблюдается при pH 6,40, поэтому исследования проводили при этом значении pH.

В мерные колбы на 25,0 мл вводили 3,0 мл буферного раствора с pH 6,40, 6,0 мл 0,05%-ного раствора БПК, раствор скандия

(23,63 мкг), мешающий ион, 1,0 мл $1,3 \cdot 10^{-3}$ моль/л раствора катамина АБ и довели дистиллированной водой до метки. Оптическую плотность измеряли в кюветах толщиной 1 см при 635 нм.

Погрешность определения меньше 5% наблюдается в присутствии следующих мольных соотношений сопутствующих металлов к скандию: Cu – 0,1:1, Cd – 2:1, Ga(III) – 0,05:1, Mg – 0,2:1. Наиболее сильное мешающее влияние на фотометрическое определение Sc с БПК оказывают ионы галлия, тулия и железа (III). В присутствии большого количества мешающих компонентов необходимо проводить предварительное разделение ионов.

Заключение

Обобщая полученные результаты, следует отметить, что при введении катамина АБ ста-

новится возможным определение ионов скандия с БПК в кислой среде при pH 2,90, что повышает селективность определения. Образование разнолигандных комплексов при pH 5,90–6,40 сопровождается батохромными сдвигами, повышением устойчивости и увеличением чувствительности фотометрического определения скандия с БПК, модифицированным катамином АБ. Под влиянием гидрофобных молекул катамина АБ происходит разрыхление связи ОН-групп БПК в положении 3. При этом становится возможным замещение протона катионом ПАВ. Ассоциация по этой группе способствует дополнительной делокализации π -электронной системы реагента, что и приводит к удлинению цепи сопряжения и последующему бато- и гиперхромному сдвигу максимумов светопоглощения комплексов.

Список источников

1. Штыков С.Н., Горячева И.Ю., Штыкова Л.С. Мицеллы и микроэмульсии в разделении и концентрировании // Журнал аналитической химии. 2003. Т. 58, № 7. С. 732–733.
2. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Белоусова В.В. и др. О механизме действия катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в системах органический краситель – ион металла – ПАВ // Журнал аналитической химии. 1978. Т. 33, № 8. С. 1473–1480.
3. Альбота Л.А., Сердюк Л.С., Заверач М.М. Фотометрическое определение ртути дитизоном и хлоридом N-цетилпиперидиния // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 2. С. 270–274.
4. Белоусова В.В., Чернова Р.К. ПАВ в спектрофотометрическом анализе. Комплекс титана с дисульфобензилфлуороном и длинноцепочечными аминами // Журнал аналитической химии. 1977. Т. 32, № 9. С. 1669–1671.
5. Иванов В. М., Мамедова А.М. Влияние поверхностно-активных веществ на кислотно-основные и цветометрические характеристики пирогаллолового красного и бромпирогаллолового красного // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2002. Т. 43, № 5. С. 291–296.
6. Неудачина Л.К., Петрова Ю.С. Применение поверхностно-активных веществ в анализе. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. 76 с.
7. Бурмаа Д., Сайнжаргал Б., Энхтуяа М. Применение поверхностно-активных веществ для оптимизации условий комплексообразования празеодима (III) с тиазолилазорезорцином // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. Т. 12, № 1. С. 7–11.

8. Ганаго Л.И., Ищенко Н.Н. Изучение разнолигандных комплексов соединений галлия и индия с хромоформными реагентами трифенилметанового ряда и бромидом цетилпиридиния // Журнал аналитической химии. 1982. Т. 37, № 9. С. 1636–1643.
9. Саввин С.Б., Маров И.Н., Чернова Р.К. и др. Электростатические и гидрофобные эффекты при образовании ассоциатов органических реагентов с катионными ПАВ // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 5. С. 850–859.
10. Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития // Журнал аналитической химии. 2000. Т. 55, № 7. С. 679–686.
11. Тихонов В.Н., Александрова Н.П. Спектрофотометрическое исследование трехкомпонентных комплексов некоторых металлов с хромазуолом S и цетилтриметиламмонием // Журнал аналитической химии. 1981. Т. 36, № 2. С. 242–247.
12. Пилипенко А.И., Волкова А.Т., Васильчук Т.А. и др. Люминесцентная спектрометрия растворов поверхностно-активных веществ и ее аналитическое применение // Журнал аналитической химии. 1989. Т. 44, № 7. С. 1157–1164.
13. Саввин С.Б., Чернова Р.К., Белоусова В.В. О механизме действия катионных поверхностно-активных веществ в системах органический реагент – ион металла – ПАВ // Журнал аналитической химии. 1978. Т. 33, № 8. С. 1473–1480.
14. Абдуллаева К.С., Мирзаи Дж.И., Чырагов Ф.М. Фотометрическое определение Mo(VI) с 2,3,4-тригидроксibenзол-4'-сульфоазонафталином в присутствии поверхностно-активных веществ // Азербайджанский химический журнал. 2012. № 4. С. 103–106.
15. Гасанова М.Б., Алиева Р.А., Назарова Р.З. и др. Спектрофотометрическое определение ванадия (V) в образцах глины // Азербайджанский химический журнал. 2017. № 3. С. 24–27.
16. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние катамина АБ на комплексообразование лантана и тулия с ксиленоловым оранжевым // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 1. С. 28–38.
17. Денисова С.А., Леснов А.Е. Влияние ПАВ различной природы на спектрометрические характеристики комплекса скандия с ксиленоловым оранжевым // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2019. Т. 9, № 3. С. 240–249.
18. Денисова С.А., Леснов А.Е. Комплексообразование ионов меди (II), алюминия и циркония с хромазуолом s в присутствии катамина АБ // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, № 1. С. 39–53.
19. Бусев А.И., Типцова В.Г., Иванов В.М. Руководство по аналитической химии редких элементов. М.: Химия, 1978. 432 с.
20. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.

Информация об авторах

Светлана Александровна Денисова, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), sw.denisova@yandex.ru

Мария Владимировна Заборских, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15)

Светлана Александровна Заболотных, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15); научный сотрудник лаборатории органических комплексообразующих реагентов, Институт технической химии УрО РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), zabolotsveta@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 10 октября 2023 г.; принята к публикации 25 октября 2023 г.

References

1. Shtykov, S.N., Goryacheva, I.Yu. and Shtykova, L.S. (2003) “Micelles and microemulsions in seprstion and preconcentration”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 58, no. 7, pp. 732–733. (In Russ.).
2. Savvin, S.B., Chernova, R.K., Belousova, V.V., Sukhova, L.K. and Shtykov, S.N. (1978) About the mechanism of action of cationic surfactants in systems organic dye – metal ion – surfactant, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 33, no. 8, pp. 1473–1480. (In Russ.).
3. Albota, L.A., Serdyuk, L.S. and Zaverach, M.M. (1981) Photometric determination of mercury with di-thizon and N-cetylpyridinium chloride, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 2, pp. 270–274. (In Russ.).
4. Belousova, V.V. and Chernova, R.K. (1977) Surfactants in spectrophotometric analysis. Titanium complex with disulfophenylfluorone and long-chain amines, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 32, no. 9, pp. 1669–1671. (In Russ.).
5. Ivanov, V. M. and Mamedova, A.M. (2002) Vliyaniye poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na kislotno-osnovnyye i tsvetmetricheskiye kharakteristiki pirogallolovogo krasnogo i brompirogallolovogo krasnogo [The influence of surfactants on the acid-base and colorimetric characteristics of pyrogallol red and bromopyrogallol red], *Moscow University Chemistry Bulletin*, vol. 43, no. 5, pp. 291–296. (In Russ.).
6. Neudachina, L.K. and Petrova, Yu.S. (2017) *Primeneniye poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v analize* [Application of surfactants in analysis], Ural University, Ekaterinburg. (InRuss.).
7. Burmaa, D., Sainjargal, B and Enkhtuya, M. (2015), “Application of surfactants for optimization of complex formation Pr (III) with TAR”, *Proceedings of Universities. Applied chemistry and Biotechnology*, vol. 12, no. 1, pp. 7–11. (In Russ.).

8. Ganago, L.I. and Ishchenko, N.N. (1982) Study of mixed-ligand complexes of gallium and indium compounds with chromoform reagents of the triphenylmethane series and cetylpyridinium bromide, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 37, no. 9, pp. 1636–1643. (In Russ.).
9. Savvin, S.B., Marov, I.N., Chernova, R.K., Shtykov, S.N. and Sokolov, A.B. (1981) Electrostatic and hydrophobic effects in the formation of associates of organic reagents with cationic surfactants, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 5, pp. 850–859 (In Russ.).
10. Stykov, S.N. (2000), “Surfactants in analysis: Progress and development trends”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 55, no. 7, pp. 679–686 (In Russ.).
11. Tikhonov, V.N. and Aleksandrova, N.P. (1981) Spectrophotometric study of three-component complexes of some metals with chromazurol S and cetyltrimethylammonium, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 2, pp. 242–247. (In Russ.).
12. Pilipenko, A.I., Volkova, A.T., Vasilchuk, T.A. and Pshinko, G.N. (1989) Luminescent spectrometry of solutions of surfactants and its analytical application, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 44, no. 7, pp. 1157–1164. (In Russ.).
13. Savvin, S.B., Chernova, R.K., and Belousova, V.V. (1978) The mechanism of action of cationic surfactants in the systems of organic reagent – metal ion – surfactant, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 33, no. 8, pp. 1473–1480. (In Russ.).
14. Abdullaeva, K.S., Mirzai, J.I. and Chiragov, F.M. (2012), “Photometric determination of Mo(VI) with 2,3,4-trihydroxybenzol-4'-sulfoazonaphthalene in the presence of surface-active substance”, *Azerbaijan Chemical Journal*, no. 4, pp. 103–106. (In Russ.).
15. Gasanova, M.B., Aliyeva, R.A., Nazarova, R.Z. and Mirzai, D.I. (2017), “Spectrophotometric determination of vanadium (V) in the clay samples”, *Azerbaijan Chemical Journal*, no. 3, pp. 24–27. (In Russ.).
16. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2019) “Effect of Catamine AB on complex formation of Lanthanum and Thulium with Xylenol orange”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp.28–38 (In Russ.).
17. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2019) “Effect of surfactant different nature on spectrophotometric characteristics of the scandium complex with xylenol orange”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 3, pp.240–249. (In Russ.).
18. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2018), “Complexing of copper (II), aluminum and zirconium ions with chromazurol s in the presence of catamin AB”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 1, pp. 39–53. (In Russian).
19. Busev, A.I., Tiptsova, V.G. and Ivanov V.M. (1978), *Rukovodstvo po analiticheskoy khimii redkikh elementov* [Guide to analytical chemistry of rare elements], Khimiya, Moscow. (In Russ.).
20. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986) *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guidance to photometric methods analysis], Khimiya, Leningrad (In Russ.).

Information about the authors

Svetlana A. Denisova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia), sw.denisova@yandex.ru

Mariya V. Zaborskikh, Student, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia)

Svetlana A. Zabolotnykh, Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia); Research Assistant, Laboratory of organic complexing reagents, Institute of Technical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (3, Koroleva st., Perm, 614013, Russia), zabolotsveta@mail.ru

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 10 October 2023; accepted 25 October 2023

— ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЯ —

Научная статья

УДК 542.61

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>

**Экстракция кадмия в расслаивающейся системе
дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода**

Жанна Юрьевна Куимова, Екатерина Николаевна Аликина

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. Исследована расслаивающаяся система с дифенилгуанидином и бензойной кислотой без органического растворителя с целью оценки ее эффективности в отношении экстракции ионов кадмия. Экстракцию изучали в присутствии неорганической (хлороводородной) кислоты или неорганических оснований (гидроксида натрия или аммония), а также неорганических комплексообразователей (иодид калия и тиоцианат аммония). Определены оптимальные условия для извлечения кадмия. Показано, что наиболее эффективная экстракция кадмия наблюдается при введении в расслаивающуюся систему гидроксида натрия. Установлено, что с ростом концентраций и дифенилгуанидина, и бензойной кислоты извлечение кадмия увеличивается. Обнаружено, что количественная экстракция кадмия наблюдается только в присутствии неорганического комплексообразователя – иодида калия.

Ключевые слова: расслаивание; извлечение; кадмий; дифенилгуанидин

Для цитирования: Куимова Ж.Ю., Аликина Е.Н. Экстракция кадмия в расслаивающейся системе дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 4. С. 213–223. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>

**Cadmium extraction in the delaminating system
diphenylguanidine – benzoic acid – water**

Zhanna Yu. Kuimova, Ekaterina N. Alikina

Perm State University, Perm, Russia

Abstract. An delaminating system with diphenylguanidine and benzoic acid without an organic solvent was studied in order to evaluate its effectiveness in relation to the cadmium ions extraction. Extraction was studied in the presence of an inorganic (hydrochloric) acid or inorganic bases (sodium or ammonium hydroxide), as well as inorganic complexing agents (KI, NH₄SCN). The optimal conditions for the cadmium extraction have been determined. It is shown that the most efficient cadmium extraction was observed when sodium hydroxide was introduced into the delaminating system. It has been established that with an increase in the concentrations of both diphenylguanidine and benzoic acid, the cadmium extraction increases. It was found that the quantitative extraction of cadmium was observed only in the presence of an inorganic complexing agent – potassium iodide.

Key words: delamination; extraction; cadmium; diphenylguanidine

For citation: Kuimova, Zh.Yu. and Alikina, E.N. (2023) “Cadmium extraction in the delaminating system diphenylguanidine – benzoic acid – water”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 4, pp. 213–223. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-213-223>.



XX век – это век бурного развития экстракции. В это время при помощи экстракции были решены важные научно-технические задачи атомной энергетики, в частности: вопросы переработки ядерного топлива, очистки и выделения многих радиоактивных элементов. Эти достижения вызвали значительный рост исследований по теории и практике применения экстракционных процессов.

В настоящее время широкое применение находят экстракционные системы, в которых расслаивание происходит в отсутствие органических растворителей. Одним из примеров таких систем являются системы с кислотно-основным взаимодействием органических реагентов. Зная кислотно-основные свойства используемых органических реагентов, можно оптимизировать состав экстракционных систем, делать их более избирательными или, наоборот, использовать для группового концентрирования, подбирать системы, расслаивающиеся при разной температуре, разном значении pH среды.

Расслаивающиеся системы без органического растворителя являются простыми и сравнительно недорогими, но при этом эффективными для разделения и концентрирования веществ, и самое главное, они являются безопасными для человека. В качестве органических оснований часто изучаются производные пиразолона [1–14], в качестве органических кислот – галогенуксусные кислоты [9], бензойная кислота и ее производные [1, 4–9, 11–14], нафталин-2-сульфокислота [2, 3, 9, 10].

В работе [15] исследована экстракция кадмия из кислых тиоцианатных растворов в расслаивающейся системе диантипирилалкан – бензойная кислота – вода. При нагревании до 80°C в исследуемой системе происходит рас-

слаивание водной системы при кислотности среды 0,01–4,0 моль/л (HCl, H₂SO₄, H₃PO₄). Органическая фаза, представляющая собой смесь тиоцианатной и бензоатной солей диантипирилметана как жидкий ионит способна взаимодействовать с металлокомплексными анионами и экстрагировать их. Исследовано влияние концентрации минеральной кислоты на степень извлечения кадмия. Обнаружено, что кадмий экстрагируется более, чем на 90% в интервале 0,1–0,6 моль/л H₂SO₄. В присутствии фосфорной кислоты интервал расширяется до 1,0 моль/л H₃PO₄. В присутствии HCl кадмий максимально извлекается на 92% при ее концентрации 0,2 моль/л. Введение тиоцианат-ионов эффективно влияет на экстракцию кадмия, которая становится количественной при 20-кратном избытке NH₄SCN. Однако при более высоких концентрациях тиоцианат-ионов начинается сверхстехиометрическая экстракция HSCN, при этом извлечение кадмия снижается до 70–80%, а органическая фаза начинает кристаллизоваться. Соотношение компонентов в извлекающемся комплексе кадмия установлено билогарифмическим методом, а затем подтверждено данными химического анализа экстракта, полученного в условиях насыщения. Состав комплекса выражается формулой (R·H)₂[Cd(SCN)₄], где R – молекула диантипирилметана.

Денисова с соавт. исследовали экстракцию кадмия в расслаивающейся системе вода – диантипирилметан – нафталин-2-сульфокислота – тиоцианат аммония [2]. Максимальное извлечение кадмия составило 71% при концентрации тиоцианат-ионов, равной 0,5 моль/л. При введении минеральной кислоты удалось повысить извлечение кадмия до 82% при концентрации

H_2SO_4 2,0 моль/л. Из солянокислых растворов кадмий максимально извлекается в условиях 1,0 моль/л HCl .

Авторами работы [16] исследована экстракция макроколичеств ионов кадмия из солянокислых растворов. Ионы кадмия извлекаются количественно гексилдиантипирилметаном в присутствии бензойной кислоты в интервале концентраций HCl 0,5–4,0 моль/л. Замена гексилдиантипирилметана на его аналог пропилдиантипирилметан не приводит к заметным изменениям интервала концентраций HCl , а вот замена бензойной кислоты на салициловую сужает интервал C_{HCl} количественной экстракции кадмия: в случае с пропилдиантипирилметаном он составляет 0,5–1,5 моль/л. Методом химического анализа насыщенного металлом экстракта определен состав извлекающегося комплекса кадмия – $(\text{ГД}\cdot\text{H})_2[\text{CdCl}_4]$, где ГД – гексилдиантипирилметан.

В работе [17] предложено для экстрагирования кадмия и некоторых других металлов из талой снеговой и речной воды использовать эквимольный расплав салицилата тиопириния с температурой плавления 145°C . Полученные экстракты и кислотные минерализаты анализировали методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Степень извлечения ионных форм кадмия из речной воды составила $(90\pm 3)\%$ после однократной экстракции.

Еще одной интересной заменой классическим органическим растворителям становятся ионные жидкости [18–21]. С. В. Смирнова с соавт. [18] исследовали экстракцию кадмия в ионные жидкости N-лауроилсаркозинат тетраоктиламмония (TOALS) и салицилат триоктилметиламмония (TOMAS), которые содержат

координационно-активные анионы N-лауроилсаркозинат и салицилат, что делает их не просто инертными разбавителями, но и комплексообразующими реагентами. Обнаружено, что количественная экстракция кадмия в TOALS осуществляется как из нейтральных и слабощелочных (при $\text{pH} \geq 6$), так и из сильноокислых ($\text{pH} \leq 2$) растворов в отсутствие дополнительных комплексообразующих реагентов. Установлено влияние хлорид-ионов на извлечение кадмия из нейтральных растворов: наблюдается рост степени извлечения Cd при увеличении концентрации хлорида, причем тангенс угла наклона соответствующей билогарифмической зависимости близок к 1. Также обнаружено влияние концентрации N-лауроилсаркозината на экстракцию кадмия. Методом элементного анализа насыщенного металлом экстракта подтверждено соотношение $\text{TOA}^+:\text{LS}^-:\text{Cd}:\text{Cl} = 1:1:1:1$. Зависимость экстракции кадмия в ионную жидкость TOMAS от pH схожа с аналогичной зависимостью для TOALS.

Экспериментальная часть

В работе использовали бензойную кислоту (БК), дифенилгуанидин (ДФГ) квалификации ч.д.а. Раствор Cd^{2+} с концентрацией 0,10 моль/л готовили, растворяя навеску хлорида кадмия $\text{CdCl}_2\cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ квалификации х.ч. в дистиллированной воде. Концентрацию полученного раствора устанавливали комплексонометрически [22].

Раствор хлороводородной кислоты с концентрацией 0,50 моль/л готовили разбавлением концентрированного раствора HCl ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$) квалификации х.ч. Раствор стандартизировали по буре с индикатором метиловый оранжевый. Раствор гидроксида натрия с концентрацией 0,25 моль/л готовили растворением

навески NaOH в дистиллированной воде. Раствор стандартизировали по 0,10 моль/л фиксанальному раствору азотной кислоты с индикатором бромкрезоловый зеленый. Раствор гидроксида аммония готовили разбавлением концентрированного раствора аммиака в дистиллированной воде. Раствор стандартизировали по 0,10 моль/л фиксанальному раствору азотной кислоты с индикатором метиловый оранжевый.

Растворы иодида калия и тиоцианата аммония с концентрацией 0,5 моль/л готовили растворением навесок KI (квалификации х.ч.) и NH_4SCN (свежеперекристаллизованного) в дистиллированной воде. Растворы стандартизировали по 0,050 моль/л стандартному раствору нитрата серебра методом потенциометрического титрования с серебряным и хлоридсеребряным электродами.

Экстракцию кадмия проводили в градуированных пробирках на 20 мл при нагревании на водяной бане до 353 К. Для этого в пробирки помещали соответствующие навески дифенилгуанидина и бензойной кислоты, создавали кислотность среды введением растворов HCl, NaOH или NH_4OH , вводили 1 мл 0,10 моль/л исходного раствора кадмия, необходимое количество 0,5 моль/л растворов KI или NH_4SCN , содержимое пробирок доводили до 10 мл дистиллированной водой. Пробирки нагревали на водяной бане в течение 15–20 мин до образования второй органической фазы, периодически перемешивая содержимое пробирок. Далее пробирки охлаждали до полного расслоения и просветления фаз.

После расслоения водную фазу сливали через фильтр с белой или красной лентой в коническую колбу на 250 мл, разбавляли дистилли-

рованной водой до 50 мл, а органическую фазу растворяли в 3–4 мл ацетона и количественно переносили в коническую колбу на 250 мл, разбавляли дистиллированной водой до 50 мл для определения ионов кадмия комплексометрически в обеих фазах по отдельности [22].

Обсуждение результатов

Изучено распределение ионов кадмия в расслаивающейся системе дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода в присутствии HCl, NaOH или NH_4OH , а также неорганических комплексообразователей – KI или NH_4SCN . В данной системе бензойная кислота играет роль органической кислоты, роль органического основания играет дифенилгуанидин.

Дифенилгуанидин имеет иминную группу с кратной связью и две аминогруппы, поэтому в силу своего строения обладает двойственной реакционной способностью [23].

Группа $\text{C}=\text{N}$ является протонакцепторной, а две аминогруппы потенциально способны к отщеплению протонов. Таким образом, дифенилгуанидин способен вступать в межмолекулярные взаимодействия по электронодонорному или электронакцепторному механизму, в зависимости от условий реакции. Катионная форма реагента может взаимодействовать с комплексными однозарядными анионами благородных и цветных металлов, например, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$, с образованием гидрофобных ассоциатов.

Исследовано распределение 0,01 моль/л кадмия (II) в системе дифенилгуанидин – бензойная кислота – вода в зависимости от концентрации хлороводородной кислоты или гидроксида натрия (рис. 1). Степень извлечения кадмия незначительно увеличивается при концентрациях хлороводородной кислоты от 0,01

моль/л до 0,05 моль/л, далее с увеличением концентрации кислоты экстрагируемость резко уменьшается, при этом максимальное извлечение кадмия не превышает 50%.

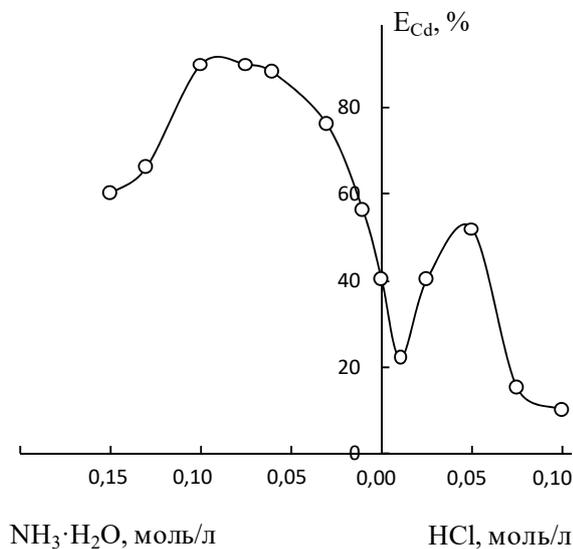


Рис. 1. Влияние концентраций HCl или NaOH на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – вода: $C_{ДФГ} = C_{БК} = 0,2$ моль/л,

$C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

При замене хлороводородной кислоты на гидроксид натрия степень извлечения кадмия возрастает в пределах концентраций гидроксида натрия от 0,01 моль/л до 0,1 моль/л, с дальнейшим ее увеличением экстрагируемость постепенно снижается (рис. 1). Максимальная степень извлечения кадмия в присутствии щелочи составляет 89 %. Таким образом, в присутствии щелочи извлечение кадмия в расслаивающейся системе происходит более эффективно.

Заменяв хлороводородную кислоту на раствор аммиака, также удалось повысить степень извлечения кадмия. В интервале содержаний аммиака от 0,01 моль/л до 0,05 моль/л наблюдается повышение степени извлечения кадмия, с дальнейшим ростом концентрации аммиака экстрагируемость уменьшается. Максимальная

степень извлечения кадмия составляет 85% (рис. 2). Однако количественного извлечения кадмия в присутствии аммиака добиться не удалось.

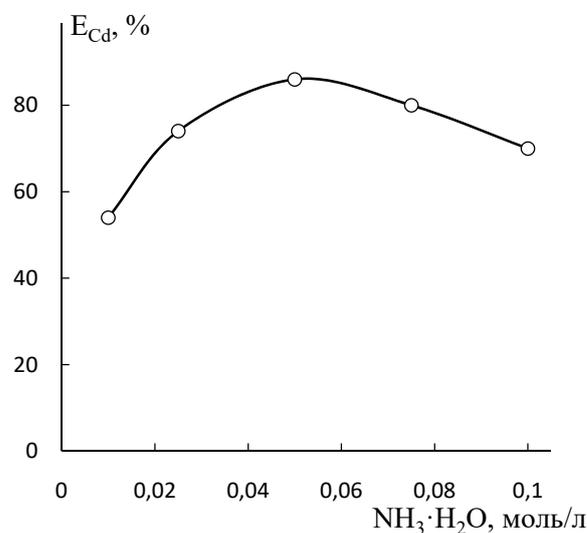


Рис. 2. Влияние концентрации аммиака на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – вода: $C_{ДФГ} = C_{БК} = 0,2$ моль/л,

$C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

Так как степень извлечения кадмия в системе с гидроксидом натрия была максимальной, далее исследовали извлечение кадмия в системе ДФГ – БК – NaOH – вода. При изменении концентрации БК обнаружено, что с ростом концентрации последней степень извлечения кадмия увеличивается в интервале 0,1–0,45 моль/л БК (рис. 3). Максимальная степень извлечения кадмия в данной системе составляет 89% (рис. 3) при концентрации БК, равной 0,45 моль/л. При дальнейшем увеличении концентрации БК на кривой экстракции кадмия наблюдается небольшой «провал», а затем степень извлечения снова начинает увеличиваться. Однако при высоких концентрациях БК ее избыток начинает кристаллизоваться в системе в твердом виде, поэтому дальнейшие исследования проводили при $C_{БК} 0,45$ моль/л.

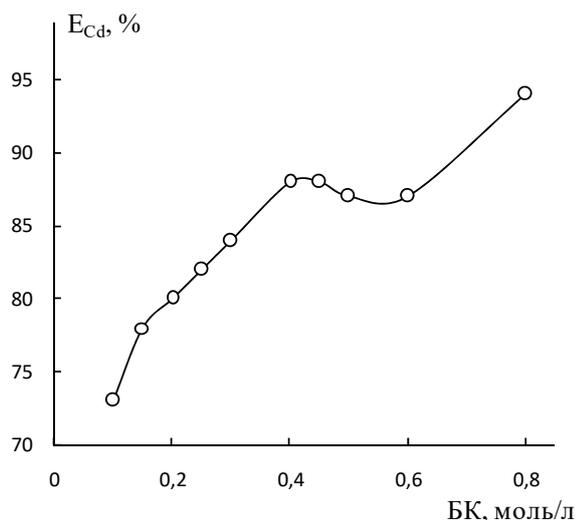


Рис. 3. Влияние концентрации бензойной кислоты на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – NaOH – вода: $C_{ДФГ} = 0,2$ моль/л, $C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $C_{NaOH} = 0,1$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

При изучении влияния концентрации дифенилгуанидина на экстракцию кадмия обнаружено, что максимальная экстрагируемость кадмия наблюдается при концентрации последнего 0,3 моль/л и составляет 91% (рис. 4).

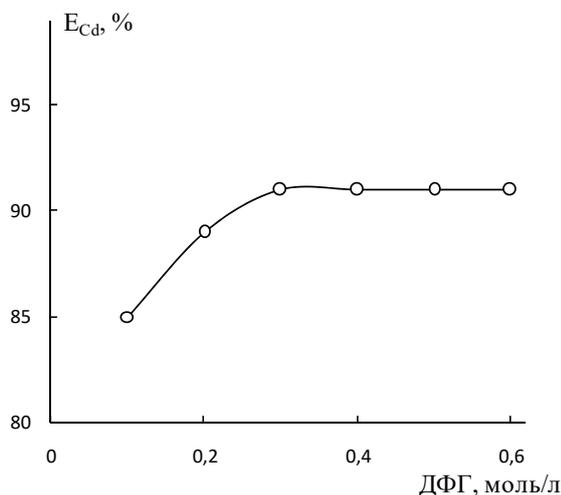


Рис. 4. Влияние концентрации дифенилгуанидина на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – NaOH – вода: $C_{БК} = 0,45$ моль/л, $C_{Cd} = 0,01$ моль/л, $C_{NaOH} = 0,1$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

В интервале концентраций дифенилгуанидина 0,1–0,3 моль/л степень извлечения кадмия

увеличивается, далее с увеличением концентрации реагента степень извлечения перестает изменяться.

В оптимальных условиях извлечения кадмия была построена изотерма экстракции (рис. 5). По данным изотермы наблюдается линейная зависимость при концентрациях кадмия от 0,01 до 0,06 моль/л. Вследствие того, что происходит насыщение фазы, извлечение кадмия резко снижается при концентрациях раствора кадмия выше 0,06 моль/л (рис. 5). Тангенс угла наклона прямой близок к 1, что свидетельствует о вхождении одного иона кадмия в состав извлекающегося комплексного соединения. По изотерме экстракции была рассчитана емкость органической фазы относительно ионов кадмия. Она составила 76 мг Cd/1 г ДФГ и 87 мг/1 г БК.

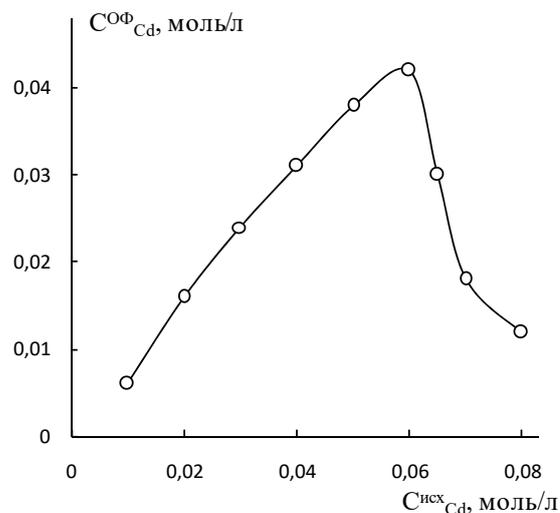


Рис. 5. Изотерма экстракции кадмия в расслаивающейся системе

ДФГ – БК – NaOH – вода при температуре 353 К:

$C_{БК} = 0,45$ моль/л, $C_{ДФГ} = 0,3$ моль/л,

$C_{NaOH} = 0,1$ моль/л, $V_{общ} = 10$ мл

Как было упомянуто выше, в системе ДФГ – БК – NaOH – вода не удалось добиться количественного извлечения кадмия, поэтому дополнительно исследовали экстракцию Cd в присут-

ствии активных комплексообразователей: KI или NH₄SCN.

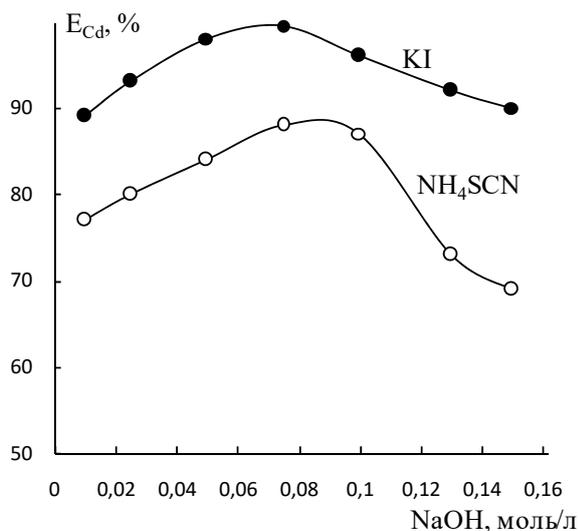


Рис. 6. Влияние концентрации NaOH на экстракцию кадмия в расслаивающейся системе ДФГ – БК – NaOH – KI (NH₄SCN) – вода:
 $C_{ДФГ} = C_{БК} = 0,2$ моль/л, $C_{Cd} = 0,01$ моль/л,
 $C(KI) = C(NH_4SCN) = 0,2$ моль/л $V_{общ} = 10$ мл

При концентрациях гидроксида натрия от 0,01 до 0,075 моль/л в присутствии KI степень извлечения кадмия растет и становится количе-

ственной, что говорит об эффективности внесения данной добавки. При дальнейшем увеличении концентрации основания степень извлечения уменьшается (рис. 9). При замене добавки KI на NH₄SCN характер кривой экстракции не меняется, но экстракция проходит менее эффективно (рис. 9). Максимальная степень извлечения в присутствии NH₄SCN составляет 88 %. Экстракцию кадмия в присутствии KI и NH₄SCN исследовали при разных концентрациях органических реагентов, но оказалось, что даже при низких концентрациях (0,2 моль/л ДФГ и БК) обеспечивается количественная экстракция в присутствии KI.

Таким образом, условиями количественной экстракции кадмия следует считать $C_{БК} = C_{ДФГ} = 0,2$ моль/л, $C_{NaOH} = 0,075 - 0,1$ моль/л, $C_{KI} = 0,2$ моль/л. Отметим, что экстракция кадмия эффективнее протекает в присутствии неорганического комплексообразователя – KI, образующего прочный ацидокомплекс с ионами кадмия.

Список источников

1. Петров Б.И., Калиткин К.В., Наземцева К.А. Экстракционная система без органического растворителя вода – антипирин – сульфосалициловая кислота // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3–2 (79). С. 198–208.
2. Денисова С.А., Леснов А.Е., Петров Б.И. Экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающейся системе вода – диантипирилметан – нафталин-2-сульфоислота // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3–1 (79). С. 151–156.
3. Денисова С.А., Леснов А.Е. Экстракция таллия (III) с использованием расслаивающихся систем вода – антипирин или диантипирилгептан – нафталин-2-сульфоислота // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2013. Т. 79, № 12. С. 20–23.
4. Дегтев М.И., Юминова А.А., Аликина Е.Н. Расслаивающаяся система антипирин – сульфосалициловая кислота – вода для извлечения и определения макроколичеств ионов индия (III) // Вода: химия и экология. 2014. № 1 (66). С. 86–91.
5. Дегтев М.И., Юминова А.А., Амнджанов А.А., и др. Расслаивающиеся системы антипирин, сульфосалициловой кислоты, сульфата натрия и воды для извлечения макроколичеств ионов металлов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2014. Т. 57, № 4. С. 315–320.

6. Аминджанов А.А., Дегтев М.И., Юминова А.А. и др. Диантипирилалканы – эффективные реагенты в расслаивающихся системах с бензойной и салициловой кислотами // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2014. № 1 (154). С. 76–83.
7. Дегтев М.И., Попова О.Н., Юминова А.А. Фазовые равновесия и константы распределения ионов металлов в системах диантипирилалкан – органическая кислота – хлороводородная кислота – вода // Журнал физической химии. 2014. Т. 88, № 7–8. С. 1239–1242.
8. Дегтев М.И., Юминова А.А., Максимов А.С. Способ концентрирования микроколичеств галлия, индия, железа (III), скандия и таллия (III) без применения органического растворителя // Вода: химия и экология. 2015. № 10 (88). С. 75–81.
9. Петров Б.И., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в водных расслаивающихся системах с протолитическим взаимодействием // Журнал аналитической химии. 2015. Т. 70, № 6. С. 563–576.
10. Денисова С.А., Головкина А.В., Леснов А.Е. Извлечение скандия диантипирилалканами из нафталин-2-сульфонатных растворов в экстракционных системах различного типа // Журнал аналитической химии. 2015. Т. 70, № 2. С. 115–120.
11. Темерев С.В., Петров Б.И., Савакова Ю.П. Групповое концентрирование ионов из кислых водных растворов легкоплавким экстрагентом // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72, № 8. С. 727–732.
12. Алексеева А.А., Бородулина Н.Д., Дегтев М.И. Об экстракции макроколичеств железа (III) в расслаивающихся системах антипирин – бензойная (салициловая) кислоты – вода // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2017. Т. 7, № 1. С. 28–38.
13. Дегтев М.И., Юминова А.А. Распределение ионов тория (IV) в водной расслаивающейся системе антипирина и сульфосалициловой кислоты // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2021. Т. 64, № 5. С. 19–23.
14. Кузалбаева В.П., Юминова А.А. Разработка метода прямого экстракционно-спектрофотометрического определения молибдат-ионов в системе антипирин – сульфосалициловая кислота – вода // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2022. Т. 12, № 1. С. 17–24.
15. Дегтев М.И., Аликина Е.Н. Экстракция ионов Zn и Cd из тиоцианатных растворов расплавами смесей диантипирилметана и бензойной кислоты // Physical, mathematical and chemical sciences: theoretical trends and applied studies / education as the basis of the humanity evolution in conditions of the information environment of the society domination: materials digest of the LI International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in physical, mathematical and chemical sciences. London, 2013. С. 11–14.
16. Дегтев М.И., Станкова А.В. и др. Оценка экстракционной способности водных расслаивающихся систем на примере извлечения ионов кадмия (II) и цинка (II) из солянокислых растворов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62, № 11. С. 57–62.

17. *Темерев С.В., Петухов В.А.* Определение ионов меди (II), кадмия (II), свинца (II), цинка (II) в образцах снега и воды после извлечения салицилатом тиопирина // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2019. Т. 27, № 4. С. 403 – 411.

18. *Смирнова С.В., Торочешникова И.И., Плетнев И.В. и др.* Экстракция ионов кадмия, свинца, кобальта, меди и цинка из водных растворов в гидрофильно-гидрофобные ионные жидкости // *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*. 2016. Т. 57, № 1. С. 11–17.

19. *Смирнова С.В., Плетнев И.В.* Новые ионные жидкости для экстракционного концентрирования // *Журнал аналитической химии*. 2019. Т. 74, № 1. С. 3–14.

20. *Плетнев И.В., Смирнова С.В., Шведене Н.В.* Новые направления применения ионных жидкостей в аналитической химии. 1. Жидкостная экстракция // *Журнал аналитической химии*. 2019. Т. 74, № 7. С. 483–526.

21. *Белова В.В., Холькин А.И.* Использование ионных жидкостей и бинарных экстрагентов в экстракции // *Химическая технология*. 2022. Т. 23, № 10. С. 430–437.

22. *Шварценбах Г., Флашка Г.* Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.

23. *Медяник Н.Л., Леонтьева Е.В.* Дифенилгуанидин-перспективный реагент для извлечения золота, серебра при переработке техногенных отходов // *Национальная ассоциация ученых*. 2015. № 8–3. С. 117–118.

Информация об авторах

Жанна Юрьевна Куимова, студент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15).

Екатерина Николаевна Аликина, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Букирева, 15), alikina-en@yandex.ru.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 16 октября 2023 г.; принята к публикации 27 октября 2023 г.

References

1. Petrov, B.I., Kalitkin, K.V. and Nazemtseva, K.A. (2013), “Extraction system without an organic solvent water – antipyrine – sulfosalicylic acid”, *News of Altai State University*, no. 3-2 (79), pp. 198–208. (in Russ.).

2. Denisova, S.A., Lesnov, A.E. and Petrov, B.I. (2013), “Extraction of thiocyanate complexes of metals in stratified system water – diantipyrylmethane – 2-naphthalenesulfonic acid”, *News of Altai State University*, no. 3-1 (79), pp. 151–156. (in Russ.).

3. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2013), “Extraction of thallium (III) using a stratified water systems – antipyrine or diantipyrylheptane – naphthalene-2-sulfonic acid”, *Factory laboratory. Material diagnostics*, vol. 79, no. 12, pp. 20–23. (in Russ.).

4. Degtev, M.I., Yuminova, A.A. and Alikina, E.N. (2014), “The segregating system containing antipyrine, sulphosalicylic acid, and water for extraction and determination of macro-quantities of indium (III) ions”, *Water: chemistry and ecology*, no. 1 (66), pp. 86–91. (in Russ.).

5. Degtev, M.I., Yuminova, A.A., Aminjanov, A.A. and Maksimov, A.S. (2014), “Organic-solvent-free extraction systems with phase separation based on antipyrine, sulfosalicylic acid, sodium sulphate and water for extraction of metal ions macroamounts”, *Reports of the Academy of Sciences of the Tajikistan Republic*, vol. 57, no. 4, pp. 315–320. (in Russ.).

6. Aminjanov, A.A., Degtev, M.I., Yuminova, A.A. and Popova, O.N. (2014), “Diantipyrilalkanes as effective reagents in the segregating systems containing benzoic acid and salicylic acid”, *News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of Physical and Mathematical, Chemical, Geological and Technical Sciences*, no. 1 (154), pp. 76–83. (in Russ.).

7. Degtev, M.I., Popova, O.N. and Yuminova, A.A. (2014), “Phase equilibria and distribution constants of metal ions in diantipyrilalkane – organic acid – hydrochloric acid – water systems”, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 88, no. 8, pp. 1419–1422. (in Russ.).

8. Degtev, M.I., Yuminova, A.A. and Maksimov, A.S. (2015), “Concentration method of microamounts gallium, indium, ferrum (III), scandium and thallium (III) without organic solvent”, *Water: chemistry and ecology*, no. 10 (88), pp. 75–81. (in Russ.).

9. Petrov, B.I., Lesnov, A.E. and Denisova, S.A. (2015), “Phase and extraction equilibria in aqueous segregable systems with protolytic interaction”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 70, no. 6, pp. 647–660. (in Russ.).

10. Denisova, S.A., Golovkina, A.V. and Lesnov A.E. (2015), “Extraction of scandium by diantipyrilalkanes from naphthalene-2-sulfonate solutions in the extraction systems of different types”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 70, no. 2, pp. 107–112. (in Russ.).

11. Temerev, S.V., Petrov, B.I. and Savakova, Y.P. (2017), “Group preconcentration of ions from acid aqueous solutions with a low-melting extractant”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 72, no. 8, pp. 849–853. (in Russ.).

12. Alekseeva, A.A., Borodulina, N.D. and Degtev, M.I. (2017), “Extraction of iron (III) macroamounts in stratifying systems antipyrine – benzoic (salicylic) acids – water”, *Bulletin of the Perm University. Series: chemistry*, vol. 7, no. 1, pp. 28–38. (in Russ.).

13. Degtev, M.I. and Yuminova, A.A. (2021), “Distribution of thorium (IV) ions in aqueous exfoliating system containing antipyrine and sulfosalicylic acid”, *News of higher educational institutions. Series: chemistry and chemical technology*, vol. 64, no. 5, pp. 19–23. (in Russ.).

14. Kuzalbaeva, V.P. and Yuminova, A.A. (2022), “Development of extraction-spectrophotometric method of molybdate ions determination of in the antipyrine – sulfosalicylic acid – water system”, *Bulletin of the Perm University. Series: chemistry*, vol. 12, no. 1, pp. 17–24. (in Russ.).

15. Degtev, M.I. and Alikina, E.N. (2013), “Ekstrakciya ionov Zn i Cd iz tiocianatnih rastvorov rasplavami smesei diantipirilmetana i benzoinoi kisloti”, In *Physical, mathematical and chemical sciences: theoretical trends and applied studies / education as the basis of the humanity evolution in conditions of the in-*

formation environment of the society domination: materials digest of the LI International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in physical, mathematical and chemical sciences, London, 2013, pp. 11–14. (in Russ.).

16. Degtev, M.I., Stankova, A.V., Knutov, D.S., Medvedev, A.P. and Russkikh, M.Y. (2019), “Extraction ability estimation of aqueous stratified systems on example of cadmium and zinc extraction from hydrochloric acid solutions”, *News of higher educational institutions. Series: chemistry and chemical technology*, vol. 62, no. 11, pp. 57–62. (in Russ.).

17. Temerev, S.V. and Petukhov, V.A. (2019), “Determination of the ions of copper (II), cadmium (II), lead (II), zinc (II) in snow and water samples after extraction with thiopyrinium salicylate”, *Chemistry for Sustainable Development*, vol. 27, no. 4, pp. 403–411. (in Russ.).

18. Smirnova, S.V., Torocheshnikova, I.I., Pletnev, I.V. and Baulin, V.E. (2016), “Extraction of cadmium, lead, cobalt, copper, and zinc ions from aqueous solutions into hydrophilic–hydrophobic ionic liquids”, *Moscow University Chemistry Bulletin*, vol. 71, no. 1, pp. 81–86. (in Russ.).

19. Smirnova, S.V. and Pletnev, I.V. (2019), “New ionic liquids for extraction preconcentration”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 1, pp. 3–14. (in Russ.).

20. Pletnev, I.V., Smirnova, S.V. and Shvedene, N.V. (2019), “New directions in using ionic liquids in analytical chemistry. 1: Liquid–liquid extraction”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 7, pp. 625–658. (in Russ.).

21. Belova, V.V. and Kholkin, A.I. (2022), “Use of ionic liquids and binary extractants in extraction”, *Chemical Technology*, vol. 23, no. 10, pp. 430–437. (in Russ.).

22. Schwarzenbach, G. and Flaschka, H. (1970), *Kompleksonometricheskoe titrovaniye* [Complexometric titration], Chemistry, Moscow. (in Russ.).

23. Medjanik, N.L. and Leontyeva, E.V. (2015), “Diphenylguanidine – perspective reagent for the extraction of gold, silver in the processing of technogenic waste”, *National Association of Scientists*, no. 8–3, pp. 117–118. (in Russ.).

Information about the authors

Zhanna Yu. Kuimova, Student, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614068, Russia).

Ekaterina N. Alikina, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, 614068, Russia), alikina-en@yandex.ru.

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 16 October 2023; accepted 27 October 2023

Научная статья

УДК 691.175.5/.8 + 632.95

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>

Комплексные полимерные препараты для защиты семян зерновых культур сельскохозяйственных растений

Александр Юрьевич Максимов^{1,2}, Юлия Андреевна Дубасова^{1,2}

¹Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Аннотация. Предпосевная обработка семян культурных растений агрохимикатами позволяет в значительной степени снизить потери урожая. Перспективной технологией увеличения урожая яровых культур в засушливых зонах, характеризующейся дефицитом влаги в летний период, является подзимний посев. Однако данный способ несет риск больших потерь в результате преждевременного прорастания зерна в случае длительного сохранения положительных температур осенью либо сильных оттепелей. Специальные химические составы для обработки зерна могут предотвратить такие потери. Разработаны комплексные полимерные препараты для защиты семян зерновых от преждевременного прорастания и повреждения фитопатогенами. Показано, что композиции на основе поливинилацетатных дисперсий и полиакриламида наиболее эффективно предотвращают преждевременное прорастание зерен ячменя. В то же время обработка сополимером акриламида и акрилата в значительной степени снижала всхожесть растений. Показано, что при обработке зерен ячменя композициями на основе полисахаридов с фунгицидным препаратом, грибное поражение полностью отсутствует, при этом не происходит существенного ингибирования прорастания семян. Данный состав для обработки против грибковой порчи зерна и всходов представляется перспективным для практического применения.

Ключевые слова: агрохимикаты; полимерные композиции; полиакриламид; предпосевная обработка; фунгицид.

Для цитирования: Максимов А.Ю., Дубасова Ю.А. Комплексные полимерные препараты для защиты семян зерновых культур сельскохозяйственных растений // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 4. С. 224–233. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>

Complex polymer preparations for the protection of seeds of grain crops of agricultural plants

Aleksandr Y. Maksimov^{1,2}, Yulia A. Dubasova^{1,2}

¹Perm Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

²Perm State University, Perm, Russia

Abstract. Pre-sowing treatment of seeds of cultivated plants with agrochemicals can significantly reduce crop losses. A promising technology for increasing the yield of spring crops in arid zones characterized by moisture deficiency in the summer is winter sowing. However, this method carries the risk of large losses as a result of premature germination of grain in the event of prolonged positive temperatures in the fall or severe thaws. Special grain processing chemicals can prevent such losses. Complex polymer preparations have been developed to protect grain seeds from premature germination and damage by phytopathogens. It has been shown that compositions based on polyvinyl acetate dispersions and polyacrylamide most effectively prevent premature germination of barley grains. At the same time, treatment with a copolymer of acrylamide and acrylate significantly reduced plant germination. It has been shown that when barley grains are treated with compositions based on polysaccharides with a fungicidal preparation, fungal infection is completely absent, and there is no significant inhibition of seed germination. This composition for treatment against fungal spoilage of grain and seedlings seems promising for practical use.

Key words: agrochemicals, polymer compositions, polyacrylamide, pre-sowing treatment, fungicide

For citation: Maksimov, A.Yu. and Dubasova, Yu. A. (2023) “Complex polymer preparations for the protection of seeds of grain crops of agricultural plants”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 4, pp. 224–233. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>.



Предпосевная обработка семенного материала сельскохозяйственных растений является необходимым агротехническим приемом, позволяющим многократно снизить потери урожая от фитопатогенных инфекций и различных неблагоприятных факторов. Разработка таких составов является важнейшей наукоемкой областью агрохимии [1,2].

Полимерные гидрогели – распространенные материалы, обладающие способностью сорбировать и удерживать большое количество воды. Все гидрогели по своей структуре представляют собой гидрофильные полимеры, несущие диссоциирующие или полярные в водной среде химические группы, способные к ионной гидратации. В частности, в технической химии и медицине применяются гидрогели на основе как природных полимеров (в частности, полисахаридов), так и синтетических материалов, полученных на основе полимеризации и сополимеризации акриловых, виниловых, стирольных, гуанидиновых и других мономеров [2–4]. Из биогенных полимеров наиболее востребованы материалы на основе полисахаридов – целлюлозы и крахмала, нередко химически модифицированных, например путем карбоксиметилирования. Синтетические гидрогели на практике преимущественно представлены поперечносшитыми акриловыми полимерами и сополимерами. Последний вид полимеров обладает наиболее высокой, по сравнению с другими материалами, способностью к сорбции водных растворов и биологических жидкостей. Гидрогели акриловой природы являются актуальным предметом исследования, в связи с их частым использованием в различных сферах деятельности. Они нашли широкое применение в медицине, сель-

ском хозяйстве, фармакологии, биохимии и др. [2–6].

Степень набухания полимерных гидрогелей зависит от природы макромолекул, природы и количества гидрофильных и ионогенных групп, степени сшивания, а также от физических и физико-химических условий процесса сорбции: температуры, рН и ионной силы раствора, количества и природы растворенных низкомолекулярных соединений [2–5].

Для практики имеет значение срок службы полимерных материалов в среде использования. Гидрогели могут быть либо химически стойкими, либо достаточно быстро деполимеризоваться и растворяться. Для решения конкретных технических задач полимерные материалы могут быть получены в различных физических формах, таких как гранулы, волокнистые материалы, пластины, микро- и наночастицы, покрытия или пленки. Условия синтеза акриловых полимеров позволяют получать материалы с широким спектром физических и физико-химических свойств. Известно, что у поперечносшитых гидрогелей с увеличением степени сшивки снижается способность к набуханию и скорость набухания вследствие стабилизирующего влияния сшивки на пространственную структуру полимера, физически ограничивающего возможность увеличиваться в размерах при впитывании воды. С другой стороны, увеличение степени сшивки ведет к улучшению упруго-механических и прочностных свойств частиц гидрогеля [2–5].

Важной сферой практического применения гидрогелей является растениеводство. Препараты на основе гидрогелей используются в качестве влагоудерживающих средств, а также перспективны в качестве полимерной основы, для

включения биологически-активных веществ (фитопротекторов, стимуляторов роста, элементов питания), обладающей эффектом дозирования [2, 4–10].

Перспективными направлениями в сфере агрохимии и сохранения сельскохозяйственного сырья является разработка комплексных препаратов на полимерной основе. В настоящее время разрабатываются многокомпонентные системы и композиты на основе акрилового гидрогеля, что может существенно расширить возможности использования этих материалов при производстве агрохимикатов [2,4, 11–15].

Пшеница, рожь и ячмень, являются важнейшими традиционно возделываемыми в России основными зерновыми культурами. Для защиты зерна и всходов от инфекционных агентов и неблагоприятных факторов могут быть использованы различные виды предпосевной обработки семян. в частности: дражирование, инкрустация, гидрофобизация, протравливание семян [16]. Климатические условия зоны произрастания влияют продуктивность данных культур. Отличительной особенностью семян озимых сортов является их ранняя всхожесть. Высейанные до наступления зимних холодов, озимые культуры приобретают устойчивость к низким температурам и переживают зиму под снежным покровом. С наступлением тепла озимые зерновые культуры продолжают свой жизненный цикл и созревают раньше яровых, дают более высокие урожаи, что связано с морозостойкостью и обильным количеством влаги, образующейся при таянии снежного покрова. Однако в переходные периоды посевной материал особенно чувствителен к повреждающим воздействиям и предпосевная обработка зерна озимых культур позволяет повы-

сить их урожайность [17]. В степной зоне с засушливым летним климатом количество доступной влаги в летний период сокращается на порядки по сравнению с весенним. Дефицит влаги также наблюдается в отдельные годы в лесостепной и лесной зонах. Исходя из прогнозов глобального потепления и из динамики снижения в последние годы количества осадков в летний период в средней полосе России, увеличивается актуальность разработки рациональных технологий использования весенней влаги. В частности, существует агротехника подзимнего посева яровых зерновых культур, связанная с засевом полей уже в холодное время, когда зерно яровых культур уже не может перейти в стадию вегетации до наступления оттепели [18]. Однако, в связи с учащением случаев поздних и зимних оттепелей, применение данной технологии ассоциировано с риском преждевременного прорастания и вымерзания всходов яровых культур. Также серьезным фактором риска гибели всходов является развитие фитопатогенов.

Целью данного исследования является разработка полимерных композиций как основы для предпосевной обработки семян зерновых культур, в частности, высеваемых под зиму.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются полимерные композиции для обработки семенного материала зерновых культур на основе поперечносшитых полимеров и сополимеров акриламида и акрилата крахмала, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), поливинилацетата.

Синтез акриловых полимеров осуществляли методом радикальной полимеризации мономеров – акриламида и акрилата натрия в водном растворе. В качестве инициаторов полимериза-

ции использовали персульфат калия (ПСК) и тетраметилэтилендиамин (ТЕМЕД). В качестве сшивающего агента использовали N,N'-метиленабисакриламид (МБАА). Реакцию проводили в общем объеме 300 мл следующим образом: дозировали акриламид и/или акрилат натрия из чистых мономеров или заранее приготовленных стоковых водных растворов (35% акриламид и 20% акрилат натрия) в соответствии с условиями эксперимента, добавляли воду

до требуемого объема. Раствор дегазировали вакуумированием в течение 10 минут при остаточном давлении 2 Па. Добавляли инициаторы полимеризации – ПСК и ТЕМЕД, перемешивали, проводили полимеризацию в течение суток до наиболее полного протекания процесса.

Для исследования синтезировали 5 вариантов поперечносшитых акриловых полимеров с разным процентным соотношением акриламида (АА) и акрилата натрия (АкNa), табл. 1.

Таблица 1

Варианты поперечно-сшитых акриловых полимеров (АП)

Образец	АП 1	АП 2	АП 3	АП 4	АП 5
Акриламид, %	15	10	7,5	5	0
Акрилат натрия, %	0	5	7,5	10	15
N, N'-метиленабисакриламид, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Время гелеобразования, мин	1	5	10	12	60

Полученные гидрогели вследствие низкой концентрации поперечносшивающего агента (0,1%) представляли собой вязкие субстанции, пригодные для нанесения на поверхность зерна.

Обработку семян акриловыми гидрогелями, поливинилацетатной дисперсией или растворами полисахаридов проводили путем их смешивания с полимерным составом в массовом соотношении 1 : 20 и подсушивания при постоянном перемешивании на ротаторе в пробирках, объемом 50 мл, закрытых полимерной сеткой, в течение 30 минут. В результате образовывался равномерно распределенный полимерный слой средней толщиной 25–60 мкм, в зависимости от вязкости суспензии. После нанесения зерно досушивали на воздухе в течение двух часов. Для модельных опытов по обработке семян использовали зерно ярового ячменя сорта «Родник Прикамья» урожая 2022 года (ПНИИСХ).

Для получения комплексных препаратов с фунгицидными свойствами в качестве противо-

грибкового средства использовали новый фунгицидный препарат 4,4,4-трихлор-1-(4-хлорфенил)бутан-1,3-дион (инканон), обладающий широким спектром противогрибковой активности. Структура синтезированного соединения была ранее подтверждена с помощью методов физико-химического анализа: данными ИК-, ¹H ЯМР-, ¹³C- ЯМР-спектроскопии, методом рентгеноструктурного анализа. Препарат представляет собой бесцветный кристаллический порошок, практически нерастворим в воде, хорошо растворим в хлороформе, хлористом метиле, ацетоне, ДМСО, ДМФА, при нагревании в гексане, этаноле. Ранее определены молекулярные механизмы противогрибкового действия исследуемого соединения: мембранотропное действие, повышение проницаемости клеточной оболочки, а также показана возможность предпосевной обработки этим соединением семян томатов. Так как инканон является гидрофобным соединением, для при-

готовления комплексных препаратов на основе полимеров с инканоном, последний растворяли в ацетоне, после чего добавили воду до требуемого объема. Для приготовления калиевой соли брали навеску 0,9 г инканона, к нему добавляли 0,33 г гидроксида калия. Смесь растворяли в 8 мл ацетона, добавляли воду до объема 10 мл. Для получения комплексного препарата смешивали водный коллоидный раствор полисахарида (10% крахмала или 5% карбоксиметилцеллюлозы) и инканон в конечной концентрации 1,5 ммоль/л.

Результаты и их обсуждение

Выбор материала покрытия в значительной степени зависит от поставленных для него задач и климатических условий места проращивания семян. Задачей настоящей работы является разработка композиций для защитного покрытия семян зерновых для преимущественного использования на Урале, в частности в Пермском крае и Курганской области. Для климата Пермского края характерны большие сезонные и годовые колебания уровня увлажнения почвы. В последний год в крае наблюдался значительный дефицит осадков в летний период. Для Курганской области характерны частые условия засухи, дефицит осадков, низкая влажность воздуха летом и переувлажнение в позднеосенний период. Также характерно наличие заморозков даже в период поздней

весны и лета. Поэтому важно обеспечить дозированное проникновение воды к зерну, защиту от грибковых фитопатогенов, стрессоустойчивость и стимуляцию роста растений.

Для получения полимерных композиций использовали следующие нативные и модифицированные природные полимеры: растворимый крахмал и карбоксиметилцеллюлозу, синтетические акриловые полимеры и поливинилацетат. Полиакриламид и акриловые сополимеры готовили в виде 15%-ного геля. Поливинилацетат – готовили в виде 20%-ной и 40%-ной эмульсии путем разведения промышленной непластифицированной дисперсии марки Д 50Н (ГОСТ 18992-80) с содержанием полимера 50%. Карбоксиметилцеллюлозу использовали в виде 5 %-ного раствора, приготовленного из сухого порошка. Растворимый крахмал использовали в форме 10%-ной суспензии, приготовленной из сухого порошка

Определение влияния акриловых полимеров и поливинилацетатной дисперсии на прорастание ячменя. Для каждой исследованной композиции проводили обработку зерен ячменя, взятых в количестве 20 г. Из обработанного зерна брали по 3 грамма на опытные варианты (табл. 2). Определяли количество проросших зерен через 14 и 30 суток инкубации при 25° и 5°С в условиях увлажнения.

Таблица 2

Определение влияния акриловых полимеров и поливинилацетатной дисперсии на прорастание ячменя

Доля проросших семян, %	Вариант опыта							
	Контроль	АП1	АП2	АП3	АП4	АП5	20% ПВА	40% ПВА
через 14 сут, при 25°С	82,3±1,9	6,7±1,2	6,2±0,9	4,6±1,1	4,0±1,3	3,5±0,9	62,5±7,5	58,5±4,7
через 14 сут, при 5°С	44,0±0,6	0	0	0	0	0	1,2±0,6	1,1±0,6
через 30 сут, при 5°С	70,2±2,3	2,4±1,2	1,7±0,8	1,4±0,5	1,1±0,7	0,8±0,4	45,7±8,2	41,5±8,1

Показано, что при 5°C зерна, обработанные сополимером акриламида и акрилата, не проросли ни в одном варианте. При обработке поливинилацетатом при 5°C прорастания зерна не произошло, но при 25° доля проросших семян составила 62,5 и 58,5 для 20 %-ной и 40 %-ной концентрации, соответственно.

Определение влияния нескольких видов покрытий на прорастание ячменя в долговременном эксперименте. Определяли результаты влияния данных видов обработки на всхожесть семян при 25°C через 7, 14 и 30 сут, после хранения в течение 60 сут при минус 12° и после-

дующего замачивания в течение 14 сут при 25°C, а также при 5°C через 1 месяц хранения (табл. 3).

Как видно из табл. 3, максимальная всхожесть наблюдалась в вариантах без обработки и с обработкой карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ). Также высокие показатели всхожести были в вариантах АП1, 5 мл 20% ПВА + 1 мл льняного масла и 5 мл 40% ПВА + 1 мл льняного. В варианте АП3 наблюдалось значительное угнетение всхожести. Варианты АП1, 3 и 4 также обеспечивали необходимую задержку прорастания в течение первой недели.

Таблица 3

Определение влияния нескольких видов покрытий на прорастание ячменя в долговременном эксперименте

Доля проросших семян, %	Вариант опыта*					
	К	АП1	АП3	3	4	5
при 25°C через 7 сут	76	6	0	6	3	36
при 25°C через 14 сут	78	39	4	52	61	55
при 25°C через 30 сут	78	66	24	71	65	78
при 25°C после хранения в течение 60 сут при минус 12° и последующего замачивания в течение 14 сут	67	65	27	64	62	58
при 5°C через 1 месяц	9	2	0	18	14	48
Максимальный процент всхожести	78	66	38	71	65	58

* К – контроль семян без обработки; 3 – 5 мл 20% ПВА + 1 мл льняного масла; 5 – 5 мл 40% ПВА + 1 мл льняного; 6 – 5 мл 10% КМЦ (расчет на 100 семян)

Обработка семян ячменя препаратом на основе полисахаридов с фунгицидным агентом. Проблемой для семян в период хранения и прорастания является поражение грибами-микросциетами, вызывающими гибель семян и всходов. В связи с этим получены 4 вида покрытий

на основе природного полисахарида – крахмала и химически модифицированного полисахарида – карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). В качестве фунгицида взят противогрибковый препарат инканон. Варианты обработки и полученные результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

Обработка семян ячменя препаратом на основе полисахаридов с фунгицидным агентом

Вариант опыта*	1	2	3	4
Количество зерен, шт	60	58	55	58
Количество проросших зерен через 14 сут при 25°C, шт	23	18	27	17
% проросших зерен	38	31	49	29

*1 – Крахмал 10% + 1,5 мМ инканон, водорастворимая калиевая соль; 2 – Крахмал 10% + 1,5 мМ инканон; 3 – КМЦ 5% + 1,5 мМ инканон, водорастворимая калиевая соль; 4 – КМЦ 5% + 1,5 мМ инканон

Как видно из табл. 4, в условиях данного опыта не происходит существенного ингибирования прорастания семян. При этом грибное поражение зерна полностью отсутствовало.

Заключение

В результате радикальной полимеризации получены 5 вариантов гидрогеля из которых для обработки семян выбрали варианты, содержащие 7,5% АА+7,5% АкНа и 5% АА+10% АкНа, наиболее подходящие по времени гелеобразования.

Показано, что в процессе инкубации увлажненного зерна при 5°C зерна, обработанные сополимером акриламида и акрилата не проросли в течение 14 суток ни в одном варианте. При обработке ПВА при 5°C существенного прорастания зерна не происходило, но при 25° доля проросших семян составила 62,5 и 58,5 для 20% и 40% концентрации, соответственно. В долговременном эксперименте показано, что высокие показатели всхожести наблюдаются в вариантах с 15% акриламида с 0,005% сшивки; с 20%- ПВА + 1 мл льняного масла; с 40%- ПВА + 1 мл льняного масла. Установлено, что эти же варианты обеспечивали необходимую задержку прорастания в течение первой недели. Таким образом обработка поливинилацетатной дисперсией в комплексе с льняным маслом в качестве гидрофобизатора представляется

предпочтительной для предохранения зерна от преждевременного прорастания без существенного снижения всхожести семян.

Установлено, что обработка сополимером акриламида и акрилата в значительной степени снижала всхожесть во всех вариантах инкубации. В частности, в варианте с обработкой сополимером 7,5%-АА +7,5 АкНа наблюдалось значительное угнетение всхожести. Показано, что при обработке семян композициями на основе полисахаридов с фунгицидным препаратом – инканонем, грибное поражение зерна полностью отсутствует, при этом не происходит существенного ингибирования прорастания семян. Поэтому данный способ обработки против грибковой порчи зерна и всходов представляется эффективным для практического применения.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке государственного задания, номер государственной регистрации НИОКТР 122031100058-3, в части эксперимента обработки и тестирования семян в условиях светокультуры. В части получения полимерных покрытий работа поддержана в рамках государственного задания НИОКТР 122010800029-1.

Благодарности

Выражаем благодарность Н.Ю. Лисовенко за синтез и предоставление препарата инканон.

Список источников

1. Волхонов М.С., Мамаева И.А., Беляков М.М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // Вестник НГИЭИ. 2022. Вып. 8 (135). С. 7–19. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-8-7-19>.
2. Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (Обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 1. С. 23–42. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.23rus>.

3. Мужайло Е.В., Волкова Д.С., Стороженко С.Е. Применение полимеров акриловой и метакриловой кислот в технологии получения мягких лекарственных форм // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2022. С. 456–458.
4. Будников В.И., Синкин В.В., Стрельников В.Н. Исследование водосорбционных характеристик наполненных акриловых сополимеров // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83, № 8. С. 1284–1287.
5. Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б. Синтез, химические и физико-химические свойства полимеров акриламида. Саратов, 2014. 67 с.
6. Данилова Т.Н., Табынбаева Л.К. Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в разных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, №. 1. С. 76–83. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.76rus>.
7. Данилова Т.Н., Аннабаева А.В. Возможности применения полимерных гелей для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар, 2020. С. 540–542.
8. Данилова Т.Н. Влияние полимерных гелей на диапазон доступной влаги дерново-подзолистой почвы // Агрофизика. 2020. №. 3. С. 17–22. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.03.03>.
9. Данилова Т.Н., Хомяков Ю.В., Конончук П.Ю. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей // Вестник защиты растений. 2021. Т. 104, №. 2. С. 97–104. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-2-13961>.
10. Старовойтова О.А. Влияние водных абсорбентов на урожайность картофеля и содержание влаги в почве // Агроинженерия. 2018. №. 2 (84). С. 12–18. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-12-18>.
11. Smagin A.V., Budnikov V.I., Sadovnikova N.B. Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability // Polymers. 2022. Vol. 14. ID 4665. <https://doi.org/10.3390/polym14214665>
12. Смагин А.В., Колганихина Г.Б., Васенев В.И. и др. Гель-серебряные композиции для ризосферы: лабораторное тестирование антимикробных свойства // Агрохимия. 2018. № 5. С. 25–32. <https://doi.org/10.7868/S0002188118050046>
13. Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю., Демаков В.А. и др. Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2010. № 1. С. 45–49.
14. Sikder A., Pearce A.K., Parkinson S.J. et al. Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications // ACS Applied Polymer Materials. 2021. Vol. 3. P. 1203–1217. <https://doi.org/10.1021/acsapm.0c00982>.
15. Singh N., Agarwal S., Jain A. et al. 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom // Agricultural Water Management. 2021. Vol. 253. ID 106939. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106939>.

16. Калашиников К.Я. Протравливание семян сельскохозяйственных культур. Л.: Сельхозиздат, 1961. 84 с.

17. Политыко П.М., Парыгина М.Н., Вольпе А.А. и др. Защита озимых культур осенью // Защита и карантин растений. 2008. №8.Р. 20–22.

18. Халин А.В., Бакиров Ф.Г., Нестеренко Ю.М. Подзимний посев яровой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 4. С. 1–9. <https://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-15009>.

Информация об авторах

Максимов Александр Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), almaks1@mail.ru

Дубасова Юлия Андреевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Лаборатория агробиофотоники Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (614600, г. Пермь, ул. Ленина, 13), pavlova_ua@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 22 ноября 2023 г.; принята к публикации 6 декабря 2023 г.

References

1. Volkhonov, M.S., Mamaeva, I.A. and Belyakov, M.M. (2022) Classification and determination of the effectiveness of known methods of pre-sowing seed treatment, *Bulletin of NGIEI*, is. 8, pp. 7–19. (In Russ.).
2. Maksimova, Yu.G., Shchetko, V.A. and Maksimov, A.Yu. (2023) Polymer hydrogels in agriculture (Review), *Agricultural Biology*, vol. 58, no. 1, pp. 23–42. (In Russ.).
3. Muzhailo, E.V., Volkova, D.S. and Storozhenko, S.E. (2022) Application of polymers of acrylic and methacrylic acids in the technology of obtaining soft dosage forms, In *Lesnoy i khimicheskiy komplekсы – problemy i resheniya. Sbornik materialov po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Krasnoyarsk, pp. 456–458. (in Russ.).
4. Budnikov, V.I., Sinkin, V.V. and Strelnikov, V.N. (2010) Study of water sorption characteristics of filled acrylic copolymers, *Journal of Applied Chemistry*, vol. 83, no. 8, pp. 1284–1287. (in Russ.).
5. Bayburdov, T.A. and Shipovskaya, A.B. (2014) *Synthesis, chemical and physicochemical properties of acrylamide polymers*, Saratov. (In Russ.).
6. Danilova, T.N. and Tabynbaeva, L.K. (2019) Polymer gels for controlling the water supply of wheat (*Triticum aestivum* L.) in different environmental conditions, *Agricultural Biology*, vol. 54, no. 1, pp. 76–83. (In Russ.).
7. Danilova, T.N. and Annabaeva, A.V. (2020) Possibilities of using polymer gels to increase the productivity of agricultural crops, In *Agrarnyye landshafty, ikh ustoychivost' i osobennosti razvitiya. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii*, Krasnodar. pp. 540–542. (In Russ.).

8. Danilova, T.N. (2020) Influence of polymer gels on the range of available moisture in soddy-podzolic soil, *Agrophysics*, no. 3, pp. 17–22. (In Russ.).
9. Danilova, T.N., Khomyakov, Yu.V. and Kononchuk, P.Yu. (2021) Biological activity of sod-podzolic sandy loam soil with reclamation application of hydrogels, *Bulletin of Plant Protection*, vol. 104, no. 2, pp. 97–104. (In Russ.).
10. Starovoitova, O.A. (2018) The influence of water absorbents on potato yield and soil moisture content, *Agroengineering*, no. 2, pp. 12–18. (in Russ.)
11. Smagin, A.V., Budnikov, V.I. and Sadovnikova, N.B. (2022) Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability, *Polymers*, vol. 14, ID 4665.
12. Smagin, A.V., Kolganikhina, G.B., Vasenev, V.I., Smagina, M.V., Sadovnikova, N.B. and Budnikov, V.I. (2018) Gel-silver compositions for the rhizosphere: laboratory testing of antimicrobial properties, *Agrochemistry*, no. 5, p. 25–32.
13. Maksimova, Yu.G., Maksimov, A.Yu., Demakov, V.A. and Budnikov, V.I. (2010) The influence of polyacrylamide hydrogels on soil microflora, *Bulletin of Perm University. Biology*, no. 1, pp. 45–49. (In Russ.)
14. Sikder, A., Pearce, A.K., Parkinson, S.J., Napier, R. and O'Reilly, R.K. (2021) Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications, *ACS Applied Polymer Materials*, vol. 3, pp. 1203–1217.
15. Singh, N., Agarwal, S., Jain, A. and Khan, S. (2021) 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom, *Agricultural Water Management*, vol. 253, ID 106939.
16. Kalashnikov, K.Ya. (1961) *Treating seeds of agricultural crops*, Leningrad, Selhoziadat. (In Russ.)
17. Polityko, P.M., Parygina, M.N., Volpe, A.A. and Prokopenko, A.G. (2008) Protection of winter crops in autumn. *Protection and quarantine of plants*, no. 8, pp. 20–22. (in Russ.).
18. Khalin, A.V., Bakirov, F.G. and Nesterenko, Yu.M. (2019) Pre-winter sowing of spring wheat in the steppe zone of the Southern Urals. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, no. 4, pp. 1–9.

Information about the authors

Aleksandr Yu. Maksimov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614068), almaks1@mail.ru.

Yulia A. Dubasova, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (13, Lenina st., Perm, Russia, 614600), pavlova_ua@mail.ru

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 22 November 2023; accepted 6 December 2023

Исправления

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-234-235>

Исправления к статье «Определение физико-химических свойств угольного электрода в водных растворах высокой плотности»

Исходная версия: 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>.

Erratum

Erratum to the article «Determination of physicochemical properties of a carbon electrode in high-density aqueous solutions»

Original version: 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>.

На странице 35

вместо

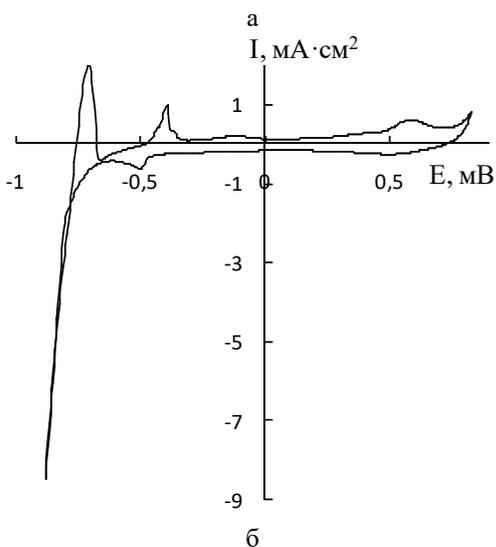
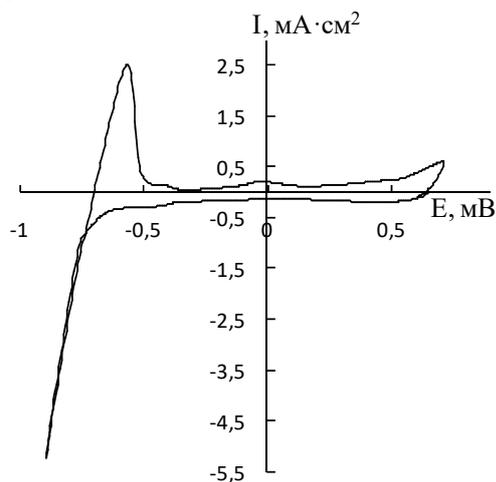


Рис.3. ЦВА-кривые, полученные в растворе № 3 (а) и № 4 (б)

следует читать

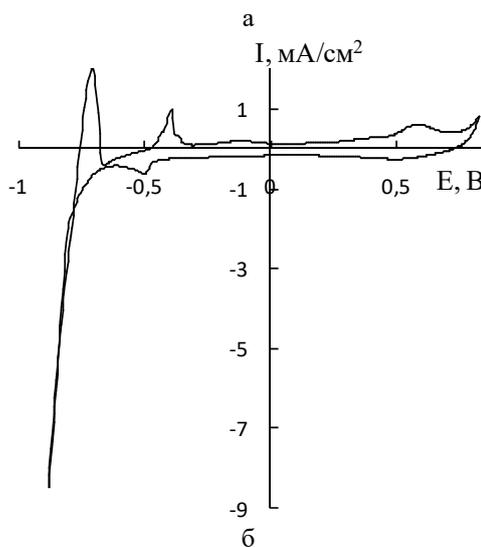
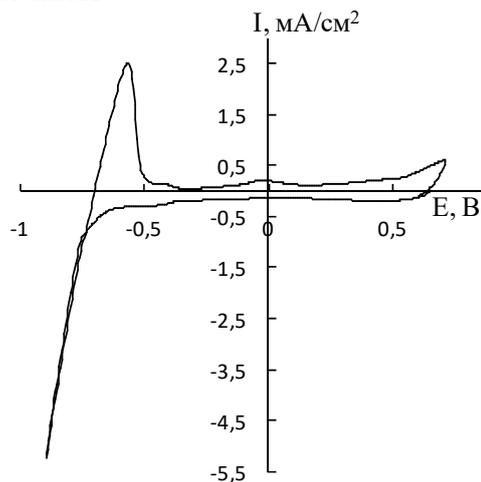


Рис.3. ЦВА-кривые, полученные в растворе № 3 (а) и № 4 (б)

На странице 36
вместо

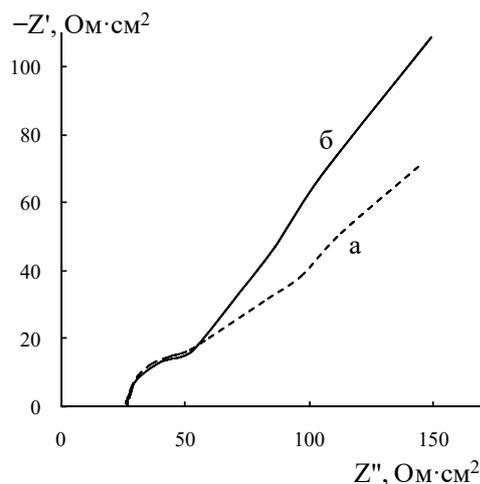


Рис. 4. Годографы импеданса в координатах Найквиста для исходной поверхности угольного электрода (а) и после снятия ЦВА кривых (б) в растворе № 2

следует читать

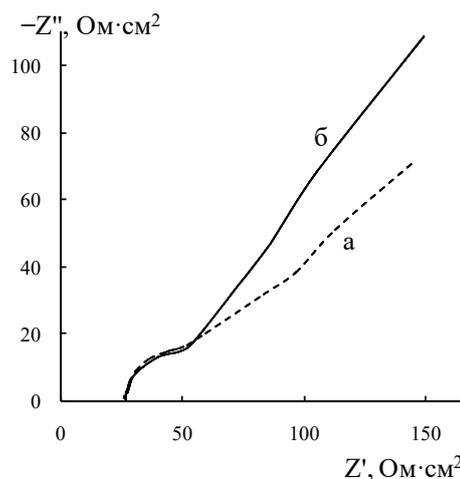


Рис. 4. Годографы импеданса в координатах Найквиста для исходной поверхности угольного электрода (а) и после снятия ЦВА кривых (б) в растворе № 2

На странице 38 в разделе «Информация об авторах» вместо

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

следует читать

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

Исправления являются техническими ошибками и не повлияли на сделанные авторами выводы.

Исправления

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-236-239>

Исправления к статье «Активация угольного электрода соединениями цинка»

Исходная версия: Шавкунов С.П., Сидорова И.П. Активация угольного электрода соединениями цинка // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 2. С. 101–108. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-101-108>.

Erratum

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-3-236-239>

Erratum to the article «Activation of carbon electrode with zinc compounds»

Original version: Shavkunov, S.P. and Sidorova, I.P. (2023) “Activation of carbon electrode with zinc compounds”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 2, pp. 101–108. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-2-101-108>.

На странице 106 подпись к рисунку вместо

Рис. 6. Годографы импеданса в координатах Найквиста для исходной поверхности угольного электрода (1) и после снятия ЦВА в 50 ммоль/л водном растворе хлорида цинка (2)

следует читать

Рис. 5. Годографы импеданса в координатах Найквиста для исходной поверхности угольного электрода (1) и после снятия ЦВА в 50 ммоль/л водном растворе хлорида цинка (2)

На странице 106–107 в разделе **Список источников** вместо

1. *Xu B., Chen Y., Wei G., Cao G. et al.* Activated carbon with high capacitance prepared by NaOH activation for supercapacitors // *Materials Chemistry and Physics*. 2010. V. 124. P. 504–509.

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. V. 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. V. 43, № 13. P. 2677–2684.

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. V. 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 // Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. 2008. Т. ЛП, № 2. С. 80–91.

7. *Стюхин В.В., Лапшин Э.В.* Графеновый суперконденсатор // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». Т. 1. Пенза, 2011. С. 7.

8. *Zhang and L.L. Zhao X.S.* Carbon-Based Materials as Supercapacitor Electrodes // *Chemical Society Reviews*. 2009. V. 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.

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. V. 50. P. 5569–5573. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2012.08.005>

15. *Supercapacitors. Materials, Systems, and Applications* / Ed. 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., Sluyters J.H. The analysis of electrode impedances complicated by the presence of a constant phase element // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 1984. V. 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).

следует читать

1. Sharma S., Chand P. Supercapacitor and electrochemical techniques: A brief review // *Results in Chemistry*. 2023. Vol. 5. ID 100885. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.100885>.
2. Zhang H., Zhang J., Liu Y., et al. Functional porous carbons for zinc ion energy storage: Structure-Function relationship and future perspectives // *Coordination Chemistry Reviews*. 2023. Vol. 482. ID 215056. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215056>.
3. Chen J., Chen M., Ma H., et al. Advances and perspectives on separators of aqueous zinc ion batteries // *Energy Reviews*. 2022. Vol. 1, № 1. ID 100005. <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2022.100005>.
4. Wang H., Ye W., Yang Y., et al. Zn-ion hybrid supercapacitors: Achievements, challenges and future perspectives // *Nano Energy*. 2021. Vol. 85. ID 105942. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105942>.
5. Xu G., Nie P., Dou H., et al. Exploring metal organic frameworks for energy storage in batteries and supercapacitors // *Materials Today*. 2017. Vol. 20, № 4. P. 191–209. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2016.10.003>.
6. Dunn B., Kamath H., Tarascon J.M. Electrical energy storage for the grid: a battery of choices // *Science*. 2011. № 334 (6058). P. 928–935. <https://doi.org/10.1126/science.1212741>.
7. Wang H., Chen Y., Fan R., et al. Selective electrochemical reduction of nitrogen to ammonia by adjusting the three-phase interface // *Research*. 2019. Vol. 2019. ID 1401209. <https://doi.org/10.34133/2019/1401209>
8. Liang, Y., Dong, H., Aurbach, D., et al. Current status and future directions of multivalent metal-ion batteries // *Nature Energy*. 2020. Vol. 5. P. 646–656. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0655-0>.
9. Chao D., Zhou W., Xie F., et al. Roadmap for advanced aqueous batteries: From design of materials to applications // *Science Advances*. 2020. Vol. 6, № 6. ID eaba4098. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba4098>
10. Li L., Zhang Q., He B., et al. Advanced multifunctional aqueous rechargeable batteries design: from materials and devices to systems // *Advanced Materials*. 2022. Vol. 34. ID 202104327. <https://doi.org/10.1002/adma.202104327>.
11. Wang D., Gao X., Chen Y., et al. Plating and stripping calcium in an organic electrolyte // *Nature Materials*. 2018. Vol. 17. P. 16–20. <https://doi.org/10.1038/nmat5036>.
12. Luo B., Wang Y., Sun L., et al. Boosting Zn²⁺ kinetics via the multifunctional pre-desolvation interface for dendrite-free Zn anodes // *Journal of Energy Chemistry*. 2023. Vol. 77. P. 632–641. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2022.11.005>.
13. Simon P., Gogotsi Y, Dunn B. Where do batteries end and supercapacitors begin? // *Science*. 2014. Vol. 343. P. 1210–1211. <https://doi.org/10.1126/science.1249625>
14. Wang H., Deng J., Xu C., et al. Ultramicroporous carbon cloth for flexible energy storage with high areal capacitance // *Energy Storage Mater*. 2017. № 7. P. 216–221.
15. Wang M., Yan D., Wu T., et al. Towards high energy density zinc-based no aqueous hybrid supercapacitors via regulating oxygen substituents in carbon cathode // *Journal of Energy Storage*. 2023. Vol. 63. ID 107076. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107076>.
16. Wang H., Yang Y., Li Q., et al. Molecule-assisted modulation of the high-valence Co³⁺ in 3D honeycomb-like CoxSy networks for high-performance solid-state asymmetric supercapacitors // *Science China Materials*. 2021. Vol. 64. P.840–851. <https://doi.org/10.1007/s40843-020-1476-2>.
17. Yuan Z., Wang H., Shen J., et al. Hierarchical Cu₂S@ NiCo-LDH double-shelled nanotube arrays with enhanced electrochemical performance for hybrid supercapacitors // *Journal of Materials Chemistry A*. 2020. № 8. P. 22163–22174.
18. Lu W., Shen J., Zhang P., et al. Construction of CoO/Co-Cu-S hierarchical tubular hetero structures for hybrid supercapacitors // *Angewandte Chemie International Edition*. 2019. № 58. P.15441–15447.
19. Lu W., Yang Y., Zhang T., et al. Synergistic effects of Fe and Mn dual-doping in Co₃S₄ ultrathin nanosheets for high-performance hybrid supercapacitors // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2021. № 590. P. 226–237.
20. Березин Н.Б., Березина Т.Н., Межевич Ж.В. Кинетика и механизм восстановления комплексов цинка // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17, № 23. С. 374–379.
21. Козырин В. А., Флеров В. Н. Особенности катодного реагирования кислорода на угольных электродах в щелочно-цинкатных электролитах // *Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева*. 2011. №3. С. 261–266.
22. Vocharov D., Chesnokov A., Chikvaizde G., et al. A comprehensive study of structure and properties of nanocrystalline zinc peroxide // *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2022. Vol. 160. ID 110318. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2021.110318>.

На странице 107–108 в разделе **References** вместо

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. Kötzt, 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.

следует читать

1. Sharma, S. and Chand, P. (2023), "Supercapacitor and electrochemical techniques: A brief review", *Results in Chemistry*, vol 5, ID 100885.
2. Zhang, H., Zhang, J., Liu, Y., Feng, F., Zhang, Y., Sun, L. and Zhang, Y. (2023), "Functional porous carbons for zinc ion energy storage: Structure-Function relationship and future perspectives", *Coordination Chemistry Reviews*, vol. 482. ID 215056.
3. Chen, J., Chen, M., Ma, H., Zhou, W. and Xu, X. (2022), "Advances and perspectives on separators of aqueous zinc ion batteries", *Energy Reviews*, vol 1, no. 1, ID 100005.
4. Wang, H., Ye, W., Yang, Y., Zhong, Y. and Hu, Y. (2021), "Zn-ion hybrid supercapacitors: Achievements, challenges and future perspectives", *Nano Energy*, vol. 85, ID 105942.
5. Xu, G., Nie, P., Dou, H., Ding, B., Li, L. and Zhang, X. (2017), "Exploring metal organic frameworks for energy storage in batteries and supercapacitors", *Materials Today*, vol. 20, is. 4, pp. 191–209.
6. Dunn, B., Kamath, H. and Tarascon, J.M. (2011), "Electrical energy storage for the grid: a battery of choices", *Science*, no. 334, pp. 928–935.
7. Wang, H., Chen, Y., Fan, R., Chen, J., Wang, Z., Mao, S. and Wang, Y. (2019), "Selective electrochemical reduction of nitrogen to ammonia by adjusting the three-phase interface", *Research*, vol. 2019, ID 1401209.
8. Liang, Y., Dong, H., Aurbach, D. and Yao, Y. (2020), "Current status and future directions of multivalent metal-ion batteries", *Nature Energy*, vol. 5, pp. 646–656.
9. Chao, D., Zhou, W., Xie, F., Ye, C., Li, H., Jaroniec, M. and Qiao, S.-Z. (2020), "Roadmap for advanced aqueous batteries: from design of materials to applications", *Science Advances*, vol. 6, no. 6, ID eaba4098.
10. Li, L., Zhang, Q., He, B., Pan, R., Wang, Z., Chen, M., Wang, Z., Yin, K., Yao, Y., Wei, L. and Sun, L. (2022), "Advanced multifunctional aqueous rechargeable batteries design: from materials and devices to systems", *Advanced Materials*, vol. 34, ID 202104327.
11. Wang, D., Gao, X., Chen, Y., Jin, L., Kuss, C. and Bruce, P.G., (2018), "Plating and stripping calcium in an organic electrolyte", *Nature Mater*, vol. 17, pp. 16–20.
12. Luo, B., Wang, Y., Sun, L., Zheng, S., Duan, G., Bao, Z., Ye, Z. and Huang, J. (2023), "Boosting Zn²⁺ kinetics via the multifunctional pre-desolvation interface for dendrite-free Zn anodes", *Journal of Energy Chemistry*, vol. 77, pp. 632–641.

13. Simon, P., Gogotsi, Y. and Dunn, B. (2014), “Where Do Batteries End and Supercapacitors Begin?“, *Science*, vol.343, pp. 1210–1211.
14. Wang, H., Deng, J., Xu, C., Chen, Y., Xu, F., Wang, J. and Wang, Y. (2017), “Ultramicroporous carbon cloth for flexible energy storage with high areal capacitance”, *Energy Storage Mater*, no.7, pp. 216–221.
15. Wang, M., Yan, D., Wu, T. and Li, W.-C. (2023), “Towards high energy density zinc-based no aqueous hybrid supercapacitors via regulating oxygen substituents in carbon cathode”, *Journal of Energy Storage*, vol. 63, ID 107076.
16. Wang, H., Yang, Y., Li, Q., Lu, W., Ning, J., Zhong, Y., Zhang, Z. and Hu, Y. (2021), “Molecule-assisted modulation of the high-valence Co^{3+} in 3D honeycomb-like Co_xS_y networks for high-performance solid-state asymmetric supercapacitors”, *Science China Materials*, vol. 64, pp. 840–851.
17. Yuan, Z., Wang, H., Shen, J., Ye, P., Ning, J., Zhong, Y. and Hu, Y. (2020), “Hierarchical $\text{Cu}_2\text{S}@ \text{NiCo-LDH}$ double-shelled nanotube arrays with enhanced electrochemical performance for hybrid supercapacitors”, *Journal of Materials Chemistry A*, no. 8, pp. 22163–22174.
18. Lu, W., Shen, J., Zhang, P., Zhong, Y., Hu, Y. and Lou, X. (2019), “Construction of CoO/Co-Cu-S hierarchical tubular hetero structures for hybrid supercapacitors”, *Angewandte Chemie International Edition*, no. 58, pp.15441–15447.
19. Lu, W., Yang, Y., Zhang, T., Ma, L., Luo, X., Huang, C., Ning, J., Zhong, Y. and Hu, Y. (2021), “Synergistic effects of Fe and Mn dual-doping in Co_3S_4 ultrathin nanosheets for high-performance hybrid supercapacitors”, *Journal of Colloid and Interface Science*, no. 590, pp. 226–237.
20. Berezin, N.B., Berezina, T.N. and Mezhevich, Zh.V. (2014), “Kinetics and mechanism of reduction of zinc complexes”, *Bulletin of the Kazan Technological University*, vol. 17, no. 23, pp. 374–379. (In Russ.).
21. Kozyrin, V. A., Flerov, V. N. (2011), “Features of the cathodic reaction of oxygen on carbon electrodes in alkaline zincate electrolytes“, *Proceedings of the NGTU im. R. E. Alekseeva*, no. 3, pp. 261–266. (In Russ.).
22. Bocharov, D., Chesnokov, A., Chikvaidze, G., Gabrusenoks, J., Ignatans, R., Kalendarev, R., Krack, M., Kundzins, K., Kuzmin, A., Mironova-Ulmane, N., Pudza, I., Puust, L., Sildos, I., Vasil'chenko, E., Zubkins, M. and Purans, J. (2022), “A comprehensive study of structure and properties of nanocrystalline zinc peroxide”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 160, ID 110318.

Исправление является технической ошибкой и не повлияло на сделанные авторами выводы.

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.

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, 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 или 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 – полусторонний. 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 или chemvestnik@yandex.ru.

При оформлении статьи необходимо различать знаки дефис (-) и тире (–), знаки ноль (0) и букву О, 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}C . В расчетных работах необходимо указывать используемые программы. При названии соединений следует использовать терминологию ИЮПАК.

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

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

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

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

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

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

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

Структура рукописи

Первая страница рукописи оформляется следующим образом:

- Тип статьи (научная статья / обзорная статья).
- Индекс Универсальной десятичной классификации (УДК).
- Название статьи. По возможности следует исключить использование аббревиатур, математических и специальных символов.
- Авторы, фамилии иностранных авторов пишутся на языке оригинала, для языков с нелатинским шрифтом приводится англоязычная транскрипция.
- Полное наименование учреждений, где работают авторы. Указываются традиционные названия учебных учреждений и академических институтов без формы принадлежности. После наименования организации указывается город и страна.
- Аннотация / Abstract объемом 100–150 слов должна содержать сжатое описание основных результатов исследования и путей их достижения и новизну исследования. Использование аббревиатур и специальных символов не допускается.
- Ключевые слова / Key words (от 3 до 6) характеризующие тематику статьи и не повторяющие ее название. Перечисляются через точку с запятой, в конце точка не ставится.

Далее приводятся все указанные данные на английском языке.

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

После заключения приводится *Список источников*, который формлируется 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 живот-

ных соответствовали этическим стандартам учреждения, нормативным актам РФ и международных организаций» или «Все исследования, выполненные с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие».

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

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

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

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

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

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

Оформление списка литературы

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

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

В списке литературы приводятся только опубликованные материалы, включая электронные издания. Ссылки на диссертации и авторефераты не рекомендуются, их следует заменить на 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 удастся, то необходимо привести самостоятельный перевод, в этом случае сначала приводится транслитерация, а затем в квадратных скобках парафраз.

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

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

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

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

Примеры оформления Списка литературы и References

1. Статья на английском языке в англоязычном журнале

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

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

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

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

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

3. Статья на немецком языке, опубликованная в немецкоязычном журнале

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

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

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

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

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

5. Книги, монографии с авторами

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

Nikurashina, N.I. and Mertslyn, R.V. (1969) *Metod secheniy. 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; опублик. 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 4

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

Адрес учредителя и издателя:
614068, Пермский край,
г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

Адрес редакции:
614068, Пермский край,
г. Пермь, ул. Букирева, д. 15,
Химический факультет
Тел. +7 (342) 239-67-08;
e-mail: chemvestnik@psu.ru

Подписано в печать 21.12.2023. Выход в свет 22.12.2023
Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 5,58. Тираж 500 экз. Заказ 162



Пермский государственный национальный исследовательский университет

Управление издательской деятельности

614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. (342) 239-66-36
Отпечатано в типографии ПГНИУ. 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. Подписной индекс 41026