

ВЕСЦІ НАЦЫЯНАЛЬнай АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ ХІМІЧНЫХ НАВУК. 2016. № 4

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ ХИМИЧЕСКИХ НАУК. 2016. № 4

Журнал основан в январе 1965 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 390 от 18 мая 2009 г.

*Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований, включен в базу данных
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

Редакционная коллегия:

С. А. Усанов, член-корреспондент, доктор химических наук,
профессор (*главный редактор*)

Н. П. Крутько, академик, доктор химических наук,
профессор (*заместитель главного редактора*)

А. В. Бильдюкевич, академик, доктор химических наук,
профессор (*заместитель главного редактора*)

Я. В. Рощина (*ведущий редактор*)

В. Е. Агабеков, академик, доктор химических наук, профессор

А. А. Гилеп, кандидат химических наук

О. Б. Дормешкин, доктор технических наук, профессор

Е. Н. Калиниченко, член-корреспондент, доктор химических наук

А. К. Карабанов, академик, доктор геолого-минералогических наук, профессор

В. Д. Кошевар, доктор химических наук, профессор

М. И. Кузьменков, доктор технических наук, профессор

А. И. Кулак, член-корреспондент, доктор химических наук, профессор

Ф. А. Лахвич, академик, доктор химических наук, профессор
В. Г. Левашкевич, доктор геолого-минералогических наук
И. И. Лиштван, академик, доктор технических наук, профессор
В. И. Поткин, член-корреспондент, доктор химических наук
Д. В. Свиридов, член-корреспондент, доктор химических наук, профессор
В. А. Хрипач, академик, доктор химических наук, профессор
О. И. Шадыро, доктор химических наук, профессор
В. В. Шманай, кандидат химических наук

Редакционный совет:

В. Балтрунас, доктор геологии, профессор (Литовская Республика)
П. Драшар, доктор естественных наук, профессор (Чешская Республика)
Л. Маркс, доктор наук, профессор (Республика Польша)
В. Я. Прушак, член-корреспондент, доктор технических наук, профессор (Республика Беларусь)
А. В. Рогачев, член-корреспондент, доктор химических наук, профессор (Республика Беларусь)
Чжао Лян, доктор наук, профессор (Китайская Народная Республика)

Адрес редакции:

*ул. Академическая, 1, к. 119, 220072, г. Минск, Республика Беларусь.
Тел.: + 375 17 284-19-19; e-mail: himvesti@mail.ru
vestichem.belnauka.by*

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.

Серия химических наук. 2016. № 4.

Выходит на русском, белорусском и английском языках

Редактор *Я. В. Роцина*

Компьютерная вёрстка *Ю. В. Денищик*

Подписано в печать 23.11.2016. Выход в свет 29.11.2016. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 70 экз. Заказ 227.

Цена номера: индивидуальная подписка – 10,28 руб., ведомственная подписка – 25,21 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск, Республика Беларусь

© РУП «Издательский дом «Беларуская навука».

Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук, 2016

PROCEEDINGS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

CHEMICAL SERIES. 2016. No. 4

The Journal was founded in January 1965

Periodicity is 4 issues per annum

Founder is the National Academy of Sciences of Belarus

The Journal is registered on May 18, 2009 by the Ministry of Information of the Republic of Belarus
in the State Registry of Mass Media, reg. No. 390

*The Journal is included in The List of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research
in the Republic of Belarus and in the database of Russian Science Citation Index (RSCI)*

Editorial Board:

- S. A. Usanau**, Corresponding Member, D. Sc. of Chemistry, Professor (*Editor-in-Chief*)
M. P. Krutsko, Academician, D. Sc. of Chemistry, Professor (*Associate Editor-in-Chief*)
A. V. Bilyukevich, Academician, D. Sc. of Chemistry, Professor (*Associate Editor-in-Chief*)
Ya. V. Roshchina (*Lead Editor*)
- V. E. Agabekov**, Academician, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
A. A. Gilep, Ph. D. of Chemistry (Republic of Belarus)
O. B. Dormeshkin, D. Sc. of Engineering, Professor (Republic of Belarus)
E. N. Kalinichenko, Corresponding Member, D. Sc. of Chemistry (Republic of Belarus)
A. K. Karabanov, Academician, D. Sc. of Geology and Mineralogy, Professor (Republic of Belarus)
V. D. Koshevar, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
M. I. Kuzmenkov, D. Sc. of Engineering, Professor (Republic of Belarus)
A. I. Kulak, Corresponding Member, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
F. A. Lakhvich, Academician, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
V. G. Levashkevich, D. Sc. of Geology and Mineralogy, (Republic of Belarus)
I. I. Lishtvan, Academician, D. Sc. of Engineering, Professor (Republic of Belarus)
V. I. Potkin, Corresponding Member, D. Sc. of Chemistry (Republic of Belarus)
D. V. Sviridov, Corresponding Member, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
V. A. Khripach, Academician, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
O. I. Shadyro, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
V. V. Shmanai, Ph. D. of Chemistry (Republic of Belarus)

Editorial Council:

V. Baltrunas, D. Sc. of Geology, Professor (Republic of Lithuania)
P. Drasar, D. Sc. of Natural Sciences, Professor (Czech Republic)
V. Ya. Prushak, Corresponding Member, D. Sc. of Engineering, Professor (Republic of Belarus)
A. V. Rogachev, Corresponding Member, D. Sc. of Chemistry, Professor (Republic of Belarus)
L. Marks, D. Sc. of Geology, Professor (Republic of Poland)
Zhao Liang, D. Sc. of Technology, Professor (China)

Address of the Editorial Office:

*Akademicheskaya str., room 119, 220072, Minsk, Republic of Belarus.
Tel.: +375 17 284-19-19; e-mail: himvesti@mail.ru
vestichem.belnauka.by*

PROCEEDING OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS.

Chemical series, 2016, No. 4.

Printed in Russian, Belarusian and English languages

Editor *Ya. V. Roshchina*

Computer imposition *Y. V. Dzianishchyk*

It is sent of the press 23.11.2016. Appearance 29.11.2016. Format 60×84¹/₈. Offset paper.
The press digital. Printed pages 14,88. Publisher's signatures 16,4. Circulation 70 copies. Order 227.
Number price: individual subscription – 10,28 byn., departmental subscription – 25,21 byn.

Publisher and printing execution:

Republican unitary enterprise "Publishing House "Belaruskaya Navuka".
Certificate on the state registration of the publisher, manufacturer,
distributor of printing editions No. 1/18 dated August 2, 2013. License for the press No. 02330/455 dated December 30, 2013.
Address : F. Scorina str., 40, 220141, Minsk, Republic of Belarus.

© RUE "Publishing House "Belaruskaya Navuka",
Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Chemical, 2016

СОДЕРЖАНИЕ**ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

- Кравченко Е. С., Захарчук К. В., Яремченко А. А., Гринс Е., Свенссон Г., Паньков В. В., Петрова Е. Г.** Термическое расширение, электрическая проводимость и кислородная нестехиометрия никелатов $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ как потенциальных катодных материалов ТОТЭ 7
- Косандрович Е. Г., Шаченкова Л. Н., Нестеренок П. В., Якубель О. Н., Солдатов В. С.** Получение и свойства нового волокнистого анионита с функциональными группами аминоэтилпиперазина 16

КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

- Комаров В. С., Вашук В. В.** Метод расчета удельной поверхности микропористых и мезопористых адсорбентов 24

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Юхник А. В., Лещев С. М.** Совместное определение тиурама Д и тиурама Е при исследованиях резин методом высокоэффективной жидкостной хроматографии 30

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Петкевич С. К., Клецков А. В., Дикусар Е. А., Бумагин Н. А., Поткин В. И.** Синтез изоксазол- и изотиазолсодержащих амидов, диамидов, сложных эфиров и диэфиров 36
- Туманов С., Лысенко И. Л., Шарко О. Л., Зубенко Ю., Шманай В. В.** Синтез дейтрированного метилхлорформиата 47
- Божок Т. С., Калинин Е. Н.** Синтез новых 6-азапиримидиновых 2'(3')-фтордезоксинуклеозидов 51
- Петушок В. Г., Калечиц Г. В., Ольховик В. К.** Синтез производных 2,2'-дигидроксибифенила 60
- Матвеев Ю. В., Пап А. А., Головченко Л. А., Ольховик В. К.** Синтез и фунгицидная активность тетразолилбифенилов 65

БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Вашкевич И. И., Терентьева Т. В., Корнилович Г. С., Сухенко Л. Н., Шибeko А. И., Свиридов О. В.** Новый набор реагентов для иммуноферментного определения зеараленона в кормах и пищевых продуктах 72

ХИМИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

- Фомина Е. К., Круль Л. П., Бутовская Г. В., Гринюк Е. В., Шахно О. В., Скаковский Е. Д., Тычинская Л. Ю.** Определение состава макромолекулярных комплексов микроэлементов с сополимером акриламида и акрилата натрия методом спектроскопии ЯМР ^{13}C 80

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Лиштван И. И., Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В., Смолячкова Е. А.** Энерготехнологическое использование биомассы 91
- Лаевская Е. В., Воробьева Е. В., Крутько Н. П., Воробьев П. Д., Черденченко Д. В., Насковец М. Т.** Структурообразование флокулированных полиакриламидом солевых дисперсий глины 102

ОБЗОРЫ

- Клюев А. Ю., Козлов Н. Г., Прокопчук Н. Р., Проневич А. Н., Скаковский Е. Д., Латышевич И. А.** Получение, свойства и применение терпеноидномалеиновых аддуктов. 110

ХРОНИКА

- Об итогах 23 Международной конференции по изопреноидам 121**

CONTENTS

PHYSICAL CHEMISTRY

- Kravchenko E. S., Zakharchuk K. V., Yaremchenko A. A., Grins J., Svensson G, Pankov V. V., Petrova E. G.** Thermal expansion, electrical conductivity and oxygen nonstoichiometry of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ nickelates as prospective SOFC cathode materials 7
- Kosandrovich E. G., Shachenkova L. N., Nesteronok P. V., Yakubel V. N., Soldatov V. S.** Synthesis and properties of the new fibrous anion exchanger with aminoethylpiperazine functional groups..... 16

COLLOIDAL CHEMISTRY

- Komarov V. S., Vashuk V. V.** Method for calculation of specific surface of microporous and micromesoporous adsorbents..... 24

ANALYTICAL CHEMISTRY

- Yukhnik A. V., Leschev S. M.** Simultaneous determination of thiuram D and E in sanitary-chemical analysis of rubber by HPLC 30

ORGANIC CHEMISTRY

- Petkevich S. K., Kletskov A. V., Dikusar E. A., Bumagin N. A., Potkin V. I.** Synthesis of isoxazol- and isothiazol-containing amides, diamides, esters and diesters..... 36
- Tumanov S., Lysenko I. L., Sharko O. L., Zubenko Yu., Shmanai V. V.** Synthesis of deuterium labelled methyl chloroformate..... 47
- Bozhok T. S., Kalinichenko E. N.** Synthesis of novel 6-azapyrimidine 2'(3')-fluorodeoxy nucleosides 51
- Petushok V. G., Kalechyts G. V., Olkhovic V. K.** Synthesis of 2,2'-dihydroxybiphenyl derivatives..... 60
- Matveienko Y. V., Pap A. A., Golovchenko L. A., Olkhovik V. K.** Synthesis and fungicidal activity of tetrazolylbiphenyls 65

BIOORGANIC CHEMISTRY

- Vashkevich I. I., Terentieva T. V., Kornilovich G. S., Sukhenko L. N., Shibeko A. I., Sviridov O. V.** A new kit of reagents for the ELISA determination of zearalenone in feeds and foods 72

POLYMER CHEMISTRY

- Fomina E. K., Krul L. P., Butovskaya G. V., Grinyuk E. V., Shahno O. V., Skakovsky E. D., Tychinskaya L. Y.** Structure determination of the macromolecular complexes of microelements with acrylamide and sodium acrylate copolymers by ^{13}C NMR spectroscopy 80

TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

- Lishtvan I. I., Dudarchik U. M., Kraiko V. M., Anufrieva E. V., Smoljachkova E. A.** Energy and technology use of biomass 91
- Layeuskaya E. V., Vorobieva E. V., Krutko N. P., Vorobiev P. D., Cherednichenko D. V., Naskovets M. T.** Structurization of saline clay dispersions flocculated by polyacrylamide 102

REVIEWS

- Kliuyeu A. Yu., Kozlov N. G., Prokopchuk N. R., Lamotkin A. I., Pronevich A. N., Skakovskiy E. D., Latyshevich I. A.** Preparation, properties and application of terpenoid-maleic adducts 110

CHRONICLE

- On the outcome of the 23rd International Conference on Isoprenoids..... 121**

Е. С. Кравченко^{1,2,3}, К. В. Захарчук², А. А. Яремченко², Е. Гринс³,
Г. Свенссон³, В. В. Паньков¹, Е. Г. Петрова¹

¹Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

²СИСЕКО – Авейровский институт материалов,

Факультет материаловедения и керамики, Университет Авейро, Авейро, Португалия

³Стокгольмский университет, Факультет материалов и химии окружающей среды,
Стокгольм, Швеция

ТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ И КИСЛОРОДНАЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЯ НИКЕЛАТОВ $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТОТЭ

Оксиды системы $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ ($x = 1,0-1,6$) были исследованы в качестве потенциальных катодных материалов для твердооксидных топливных элементов. Были изучены структурная стабильность, кислородная нестехиометрия и электрическая проводимость. Установлено, что все оксиды сохраняют кристаллическую структуру типа K_2NiF_4 в окислительных условиях в температурной области 25–900 °С. Оксиды данной системы являются дефицитными по кислороду при температурах выше 500 °С, и кислородная нестехиометрия повышается с ростом температуры и увеличением содержания стронция. Исследованные никелаты обладают псевдометаллической электропроводностью p -типа в окислительных условиях при температурах 500–1000 °С. Наибольшая электрическая проводимость характерна для $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{1,2}\text{NiO}_{4-\delta}$ (220 См/см при 900 °С и 440 См/см при 600 °С). Методом высокотемпературной рентгеновской дифракции установлено, что никелаты $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ проявляют анизотропное термическое расширение кристаллической решетки, однако объемное термическое расширение носит практически линейную зависимость от температуры; значения линейных коэффициентов термического расширения составляют $(14,2-15,6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Ключевые слова: никелат, структурный тип K_2NiF_4 , кислородная нестехиометрия, термическое расширение, электропроводность, кислородный электрод, ТОТЭ.

E. S. Kravchenko^{1,2,3}, K. V. Zakharchuk², A. A. Yaremchenko², J. Grins³,
G. Svensson³, V. V. Pankov¹, E. G. Petrova¹

¹Department of Chemistry, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

²CICECO – Aveiro Institute of Materials, Department of Materials and Ceramic Engineering,
University of Aveiro, Aveiro, Portugal

³Stockholm University, Department of Materials and Environmental Chemistry, Stockholm, Sweden

THERMAL EXPANSION, ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND OXYGEN NONSTOICHIOMETRY OF $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ NICKELATES AS PROSPECTIVE SOFC CATHODE MATERIALS

$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ ($x = 1.0-1.6$) nickelates were evaluated as potential cathode materials for solid oxide fuel cells, with focus on the structural stability, oxygen nonstoichiometry and electrical conductivity under oxidizing conditions. All studied ceramic materials were found to preserve K_2NiF_4 -type tetragonal structure under oxidizing conditions at 25–900 °C. $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ ($x=1.0-1.6$) nickelates demonstrate oxygen deficiency at temperatures above 500 °C, with oxygen nonstoichiometry increasing with temperature and strontium content. The electrical conductivity is p -type and show metallic-like behavior under oxidizing conditions at 500–1000 °C. The highest conductivity values, 220 S/cm at 900 °C and 440 S/cm at 600 °C in air, are measured for $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{1,2}\text{NiO}_{4-\delta}$ ceramics. While the high-temperature XRD studies revealed strongly anisotropic thermal expansion of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{NiO}_{4-\delta}$ crystal lattice, the lattice volume show nearly linear dependence on temperature, with average linear thermal expansion coefficients varying in the range $(14.2-15.6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Keywords: nickelate, K_2NiF_4 -type structure, oxygen nonstoichiometry, thermal expansion, electrical conductivity, oxygen electrode, SOFC.

Е. Г. Косандрович, Л. Н. Шаченкова, П. В. Нестеронк,
О. Н. Якубель, В. С. Солдатов

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА НОВОГО ВОЛОКНИСТОГО АНИОНИТА С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИ АМИНОЭТИЛПИПЕРАЗИНА

На основе полиакрилонитрильного волокна синтезирован новый ионит с функциональными группами аминоэтилпиперазина. Последующей реакцией алкилирования эпихлоргидрином получен анионит, содержащий в своей структуре сильноосновные группы. Подобраны оптимальные условия синтеза данных ионитов. Исследованы их физико-химические и сорбционные характеристики. На основании данных по поглощению диоксида серы показана практическая применимость ионита с группами аминоэтилпиперазина для очистки воздуха от примесей кислотной природы.

Ключевые слова: волокнистый ионит, полиакрилонитрил, аминоэтилпиперазин, эпихлоргидрин, обменная емкость, потенциометрическое титрование, диоксид серы, сорбция.

**E. G. Kosandrovich, L. N. Shachenkova, P. V. Nesteronok,
V. N. Yakubel, V. S. Soldatov**

Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

SYNTHESIS AND PROPERTIES OF THE NEW FIBROUS ANION EXCHANGER WITH AMINOETHYLPIPERAZINE FUNCTIONAL GROUPS

A new anion exchanger with aminoethylpiperazine functional groups has been synthesized from polyacrylonitrile fiber. The subsequent alkylation with epichlorohydrin afforded another anion exchanger with strong base functional groups. The optimal conditions for synthesis of these ion exchangers have been found, their physical chemical and sorption properties have been investigated. Experimental data of sulfur dioxide sorption on the ion exchanger with aminoethylpiperazine functional groups show its practical applicability for air purification from acidic pollutants.

Keywords: fibrous ion exchanger, polyacrylonitrile, aminoethylpiperazine, epichlorohydrin, potentiometric titration, sulfur dioxide, sorption, air purification.

В. С. Комаров, В. В. Вашук

Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

МЕТОД РАСЧЕТА УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МИКРОПОРИСТЫХ И МИКРОМЕЗОПОРИСТЫХ АДСОРБЕНТОВ

Предложен метод расчета удельной поверхности микропор микромезопористых адсорбентов, основанный на принципиально новом подходе, который заключается в определении боковой поверхности поры, которую блокируют молекулы адсорбата, расположенные в ее поперечном сечении. Проведено обоснование метода и показана возможность его практического применения при оценке удельной поверхности пористых тел, содержащих микропоры. Показана ограниченность методов БЭТ для определения удельной поверхности микро- и микромезопористых материалов. Подчеркнута применимость метода БЭТ для исследований адсорбционных процессов в интервале относительных давлений адсорбатов 0,05–0,35.

Ключевые слова: микропоры, поперечное сечение микропоры, БЭТ, мономолекулярный слой, микро- и микромезопористые материалы.

V. S. Komarov, V. V. Vashuk

Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

METHOD FOR CALCULATION OF SPECIFIC SURFACE OF MICROPOROUS AND MICROMESOPOROUS ADSORBENTS

Essentially new method of definition of specific surface of micropores of micromesoporous adsorbents based on determination of side surface of a pore which is blocked by adsorbate molecules placed in her cross-section is proposed. Justification of the method is carried out and an opportunity of its practical application at estimation of a specific surface of the porous bodies containing micropores is shown. Limitation of the BET methods for definition of a specific surface of microporous and micromesoporous materials is shown. It is emphasized, that applicability of the BET method for analysis of adsorption processes is restricted by the relative adsorbates pressure of 0.05–0.35.

Keywords: micropores, cross-section of micropore, BET, monomolecular layer, microporous and micromesoporous materials.

А. В. Юхник, С. М. Лещев

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

СОВМЕСТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИУРАМА Д И ТИУРАМА Е ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ РЕЗИН МЕТОДОМ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Разработана методика совместного определения тиурама Д и тиурама Е в водных вытяжках при санитарно-химическом анализе резин методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Разделение проводили на колонке Nupersil Gold длиной 250 мм, внутренним диаметром 4,6 мм, зернением фазы 5 мкм, в качестве подвижной фазы использовали смесь ацетонитрила и бидистиллированной воды (80 : 20, об./об.), скорость подвижной фазы составляла 0,4 см³/мин, а рабочая длина волны УФ детектора 280 нм. Были определены такие хроматографические параметры, как время удерживания, асимметрия пика, коэффициенты разделения и селективности. Показано, что методика линейна в диапазоне 0,005–0,05 мкг/мл. С использованием калибровочной прямой и стандартного отклонения аналитического сигнала рассчитывали нижний предел количественного определения, который составил 0,003 и 0,004 мкг/мл для тиурама Д и тиурама Е соответственно. Установлено, что различие значений дисперсий средних результатов двух выборок, полученных в условиях внутрилабораторной точности при определении содержания тиурама Д и тиурама Е в модельных образцах, незначимо. Разработанная методика была апробирована при санитарно-химических исследованиях образцов игрушек и изделий медицинского назначения из резин.

Ключевые слова: тиурам Д, тиурам Е, методика, санитарно-химические исследования, резина, высокоэффективная жидкостная хроматография.

A. V. Yukhnik, S. M. Leschev

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

SIMULTANEOUS DETERMINATION OF THIURAM D AND E IN SANITARY-CHEMICAL ANALYSIS OF RUBBER BY HPLC

A method for simultaneous determination of thiuram D and E in aqueous extracts in the sanitary-chemical analysis of rubber by high performance liquid chromatography has been developed. Separation was performed using column Hypersil Gold 250 mm, internal diameter 4.6 mm, graining phase 5 μm , a mixture of acetonitrile–bidistilled water (80 : 20 v/v) was used as a mobile phase at a flow rate of 0.4 ml·min⁻¹, UV detection was at 280 nm. The chromatographic parameters such as retention times, peak asymmetry, resolution factor and selectivity factor, have been determined. It has been shown that the method is linear in the range of 0.005 mkg/ml – 0.05 mkg/ml. Using the calibration curve and standard deviations analytical signal, limits of quantification have been calculated, being 0.003 mkg/ml and 0.004 mkg/ml for thiurams D and E, respectively. It has been found that the difference between values of the average result variances of two samples obtained under conditions of intermediate precision in determining the content of thiuram D and thiuram E in model samples, is insignificant. The developed method has been tested in the sanitary-chemical analysis of sample toys and medical products from rubber.

Keywords: thiuram D, thiuram E, method, sanitary-chemical analysis, rubber, high performance liquid chromatography.

С. К. Петкевич¹, А. В. Клецков¹, Е. А. Дикусар¹, Н.А.Бумагин², В. И. Поткин¹

¹*Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Москва, Российская Федерация*

СИНТЕЗ ИЗОКСАЗОЛ- И ИЗОТИАЗОЛСОДЕРЖАЩИХ АМИДОВ, ДИАМИДОВ, СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ И ДИЭФИРОВ

Описан синтез сложных эфиров, диэфиров, амидов и диамидов 5-(*n*-толил)изоксазол-3-карбоновой и 4,5-дихлоризотиазол-3-карбоновой кислот. Получены производные с остатками разных 1,2-азолов в одной молекуле. Синтезированные соединения перспективны в качестве лигандов для комплексов с палладием (II) и другими переходными металлами и последующего исследования их каталитических свойств.

Ключевые слова: 5-(*n*-толил)изоксазол-3-карбоновая кислота, 4,5-дихлоризотиазол-3-карбоновая кислота, хлорангидрид, ацилирование, эфиры, диэфиры, амиды, диамиды.

S. K. Petkevich¹, A. V. Kletskov¹, E. A. Dikusar¹, N. A. Bumagin², V. I. Potkin¹

¹*Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

²*Moscow M. V. Lomonosov State University, Moscow, Russian Federation*

SYNTHESIS OF ISOXAZOL- AND ISOTHAZOL-CONTAINING AMIDES, DIAMIDES, ESTERS AND DIESTERS

The article describes synthesis of isoxazol- and isothiazol- containing esters, diesters, amides and diamides. The derivatives with different 1,2-azole moieties in one molecule were obtained. Compounds synthesized are promising as ligands for complexes with palladium(II) and other transition metals and subsequent study of their catalytic properties.

Keywords: 5-(*p*-tolyl)isoxazol-3-carboxylic acid, 4,5-dichloroisothiazol-3-carboxylic acid, acyl chloride, acylation, esters, diesters, amides, diamides.

С. Туманов^{1,2}, И. Л. Лысенко², О. Л. Шарко², Ю. Зубенко³, В. В. Шманай²

¹*Институт исследования рака им. Дж. Битсона, Глазго, Великобритания*

²*Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

³*Независимая нефтехимическая лаборатория, Нортленд, Новая Зеландия*

СИНТЕЗ ДЕЙТЕРИРОВАННОГО МЕТИЛХЛОРФОРМИАТА

Большинство аналитических методов метабомики позволяют определить относительное содержание метаболитов в биологических образцах, либо требуют использования нескольких внутренних стандартов. Для количественного определения метаболитов необходимо определение абсолютных концентраций. Для этих целей применяются газохроматографические методы разделения продуктов взаимодействия метаболитов с метилхлорформиатом и их масс-детекция с использованием дейтерированных аналогов в качестве внутренних стандартов. Нами синтезирован дейтерированный метилхлорформиат – реагент для абсолютного количественного метаболического анализа на основе газовой хроматографии с масс-детекцией. Предложенный метод позволяет получать дейтерометилхлорформиат в индивидуальном состоянии с высокими выходами.

Ключевые слова: метабомика, метилхлорформиат, масс-спектрометрия.

S. Tumanov^{1,2}, I. L. Lysenko², O. L. Sharko², Yu. Zubenko³, V. V. Shmanai²

¹Beatson Institute for Cancer Research, Glasgow, UK

²Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

³Independent Petroleum Laboratory Ltd, Northland, New Zealand

SYNTHESIS OF DEUTERIUM LABELLED METHYL CHLOROFORMATE

Most analytical methods in metabolomics allow determination of relative intensities or require several internal standards of metabolites. For quantitative analysis, determination of absolute concentrations is required. For this purpose, the gas chromatography/tandem mass spectrometry methods are used, based on methyl chloroformate derivatization and quantification by spiking samples with metabolite standards separately derivatized with deuterated derivatization reagents. Described herein is the synthesis of deuterated methyl chloroformate – the reagent for absolute quantitative metabolite analysis by gas chromatography-mass spectrometry. The method allows preparation and isolation of deuteromethylchloroformate with high yields.

Keywords: metabolomics, methyl chloroformate, mass-spectrometry.

Т. С. Божок, Е. Н. Калиниченко

Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

СИНТЕЗ НОВЫХ 6-АЗАПИРИМИДИНОВЫХ 2'(3')-ФТОРДЕЗОКСИНУКЛЕОЗИДОВ

Биоизостерическая замена в молекуле биологически активного соединения – один из подходов, используемых в медицинской химии для создания более эффективных и безопасных лекарств. Введение атома фтора в биологически активные молекулы оказывает существенное влияние на их физико-химические и биологические свойства. Основные модификации, которые привели к обнаружению фторпроизводных нуклеозидов с биологической активностью, включают замены во 2'- и 3'-положениях дезоксифуранозного цикла. В данной работе исследован подход к синтезу 1-(β-D-рибофуранозил)-6-азатимина и его новых 2'(3')-фторсодержащих нуклеозидных аналогов путем конденсации 2,4-бис-О-триметилсилильного производного 6-азатимина с 1-О-ацетил-2,3,5-три-О-бензоил-β-D-рибофуранозой, 1-О-ацетил-2,5-ди-О-бензоил-3-деокси-3-фтор-α,β-D-рибофуранозой или 3,5-ди-О-бензоил-2-деокси-2-фтор-α-D-арабинофуранозил бромидом и последующим удалением защитных групп промежуточных N(1)-β-нуклеозидов под действием нуклеофильного агента. Наряду с основными продуктами реакции деблокирования выделены их 5'-О-бензоильные производные. 2'(3')-Фтордезоксинуклеозидные аналоги 5-метил-6-азацитозина получены прямым превращением 6-азатиминового фрагмента блокированных фтордезоксинуклеозидов в 6-азацитозиновый через соответствующие 4-тиопроизводные. Структура синтезированных нуклеозидов установлена на основании данных УФ-, ЯМР- и масс-спектропии. Таким образом, разработаны эффективные методы получения новых 2'(3')-фторсодержащих нуклеозидных аналогов 6-азатимина и 5-метил-6-азацитозина, которые могут представлять интерес в качестве потенциальных противовирусных или противоопухолевых агентов.

Ключевые слова: рибонуклеозиды, арабинонуклеозиды, фтордезоксинуклеозиды, 6-азатимин, 5-метил-6-азацитозин, гликозилирование, тионирование, аммонолиз.

T. S. Bozhok, E. N. Kalinichenko

Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

SYNTHESIS OF NOVEL 6-AZAPYRIMIDINE 2'(3')-FLUORODEOXY NUCLEOSIDES

Fluorinated nucleosides have been shown to possess interesting physicochemical and biological properties. Bioisosteric replacement of a hydroxy group or a hydrogen atom by fluorine atom(s) is a classic approach in medicinal chemistry to improve the pharmacological properties of a biologically active molecule. Essential modifications that led to the discovery of fluorinated nucleosides with biological activity are substitutions at 2'- and 3'-positions deoxy-furanosyl moiety. Novel 6-azathymine 2'(3')-fluorodeoxy nucleosides have been prepared by the silyl method starting from persilylated 6-azathymine and 1-O-acetyl-2,5-di-O-benzoyl-3-deoxy-3-fluoro-α,β-D-ribofuranose or 3,5-di-O-benzoyl-2-deoxy-2-fluoro-β-D-arabino-furanosyl bromide. Debenzoylation of protected 6-azathymine 2'(3')-fluorodeoxy nucleosides with methanolic ammonia resulted in the corresponding fluorinated nucleosides in good yields. Along with the main products of the deprotection, their 5'-O-benzoyl derivatives were isolated. Conversion of the 6-azathymine 2'(3')-fluorodeoxy nucleosides into 5-methyl-6-azacytosine 2'(3')-fluorodeoxy nucleosides was accomplished *via* the corresponding 4-thioderivatives. The structures of all synthesized nucleosides were proved by UV-, NMR- and mass-spectroscopy. Novel 6-azapyrimidine 2'(3')-fluorodeoxy nucleosides are of interest as potential antiviral and anticancer agents.

Keywords: ribonucleosides, arabinonucleosides, fluorodeoxy nucleosides, 6-azathymine, 5-methyl-6-azacytosine, glycosylation, thionation, ammonolysis.

В. Г. Петушок, Г. В. Калечиц, В. К. Ольховик

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ 2,2'-ДИГИДРОКСИБИФЕНИЛА

Осуществлен синтез 2,2-дигидроксибифенил-4,4-дикарбоновой кислоты щелочным плавлением 1-нитро-, 1-метокси производных 5,5-диоксидибензотиофен-3,7-дикарбоновой кислоты. Показано, что в этих условиях наряду с раскрытием тиофенового цикла протекает реакция циклизации с образованием небольших количеств дибензофуран-3,7- и 4-гидроксикарбазол-2,7-дикарбоновых кислот. Вследствие легкого выделения дибутилового эфира 2,2'-дигидроксибифенил-4,4-дикарбоновой кислоты из реакционной смеси и возможностью использования его в качестве интермедиата для синтеза симметричных полисопряженных органических соединений с центральным бифенильным ядром была проведена дальнейшая модификация гидроксильных и сложноэфирных групп. Полученные конечные 4,4'-бис(2-фенил-(Е)-этинил)бифенилы интенсивно люминесцируют в твердом состоянии от 480 нм сине-зеленой до зелено-желтой 530 нм, а в растворах от синей 440 нм до сине-зеленой 480 нм области спектра.

Ключевые слова: дибензотиофен, щелочное плавление, карбазол, дибензофуран.

V. G. Petushok, G. V. Kalechyts, V. K. Olkhovic

Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

SYNTHESIS OF 2,2'-DIHYDROXYBIPHENYL DERIVATIVES

Synthesis of 2,2'-dihydroxybiphenyl-4,4-dicarboxylic acid by alkaline fusion of 1-nitro- and 1-methoxy substituted 5,5-dioxodibenzothiophene-3,7-dicarboxylic acids has been investigated. It has been shown that along with dibenzothiophene ring opening and formation of biphenyls, a cyclization reaction also occurred. Small amounts of dibenzofuran-3,7- and 4-hydroxycarbazole-2,7-dicarboxylic acids have been found among products of the reaction. New luminescent dyes based on 2,2'-hydroxybiphenyls have been synthesized.

Keywords: dibenzothiophene, alkaline fusion, carbazole, dibenzofuran.

Ю. В. Матвеенко¹, А. А. Пап¹, Л. А. Головченко², В. К. Ольховик¹

¹*Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

СИНТЕЗ И ФУНГИЦИДНАЯ АКТИВНОСТЬ ТЕТРАЗОЛИЛБИФЕНИЛОВ

Реакцией 1,3-диполярного циклоприсоединения синтезированы производные бифенила, содержащие 5-тетразолилный фрагмент в положении, C4 и C4' ароматических колец. Производные бифенила, содержащие 1-тетразолилный фрагмент в положении C2, C4 и C4' ароматических колец, получены взаимодействием соответствующих аминов с ортомуравьиным эфиром и азидом натрия. Приведены физико-химические и спектральные характеристики полученных соединений. Проведены исследования их фунгицидной активности. Исследована чувствительность патогенных грибов *Botrytis cinerea*, *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp. к изомерным 4,4'-тетразолил производным бифенила. Тесты показали, что производное 5-тетразолил бифенила оказывает значительно более сильное ингибирующее действие на рост патогенных грибов, чем 1-тетразольный изомер. Для 4,4'-ди(1H-тетразол-5-ил)-бифенила и 2-замещенных производных проведены исследования фитотоксичности, и изучено влияние дополнительных гидрофильных и гидрофобных группировок в бифенильном фрагменте на биологическую активность. Наиболее сильный фунгицидный эффект отмечен при использовании 0,1 %-ных растворов образцов 4,4'-ди(1H-тетразол-5-ил)-бифенил-2-ола и 5,5'-(2-(гексилокси)бифенил-4,4'-диил)бис(1H-тетразола). Оптимальное соотношение высокой фунгицидной активности и низкой фитотоксичности определено для 5,5'-(2-(гексилокси)бифенил-4,4'-диил)бис(1H-тетразола).

Ключевые слова: бифенилы, 5-тетразолы, тетразолилбифенилы, фунгицидная активность.

Y. V. Matveienko¹, A. A. Pap¹, L. A. Golovchenko², V. K. Olkhovic¹

¹*Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

²*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

SYNTHESIS AND FUNGICIDAL ACTIVITY OF TETRAZOLYLBIPHENYLS

Biphenyl derivatives containing 5-tetrazolyl moiety in position C4 and C4' position of aromatic rings were synthesized by reaction of 1,3-dipolar cycloaddition. Biphenyl derivatives with 1-tetrazolyl moiety in the C2, C4 and C4' position of aromatic rings were prepared by reacting the corresponding amines with orthoformic ester and sodium azide. The physicochemical spectral characteristics and fungicidal activity of the synthesized compounds were studied. The sensitivity of the pathogenic fungus *Botrytis cinerea*, *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp. against isomeric 4,4'-tetrazolyl biphenyl derivatives was investigated. Tests have shown that the 5-tetrazolyl biphenyl poses a much stronger inhibitory effect on the growth of pathogenic fungi than 1-tetrazole isomer. The phytotoxicity studies and influence of additional hydrophilic and hydrophobic groups in the biphenyl moiety were investigated for 4,4'-di(1H-tetrazol-5-yl)-biphenyl and 2-substituted derivatives. The strongest fungicidal effect was observed for 0.1 % solutions of samples of 4,4'-di(1H-tetrazol-5-yl)-biphenyl-2-ol and 5,5'-(2-(hexyloxy) biphenyl 4,4'-diyl) bis (1H-tetrazole). The optimum balance of high fungicidal activity and low phytotoxicity determined for 5,5'-(2-(hexyloxy) biphenyl-4,4'-diyl) bis (1H-tetrazole).

Keywords: biphenyls, 5-tetrazoles, tetrazolylbiphenyls, fungicidal activity.

**И. И. Вашкевич¹, Т. В. Терентьева¹, Г. С. Корнилович², Л. Н. Сухенко²,
А. И. Шибeko², О. В. Свиридов¹**

¹*Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Центральная научно-исследовательская лаборатория хлебопродуктов, Минск, Республика Беларусь*

НОВЫЙ НАБОР РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ИММУНОФЕРМЕНТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕАРАЛЕНОНА В КОРМАХ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Разработан и испытан набор реагентов ИФА-ЗЕАРАЛЕНОН для определения микотоксина зearаленонa в кормах и пищевой продукции методом прямого конкурентного иммуноферментного анализа в микропланшетном формате. Установленные технико-аналитические параметры набора и метрологические характеристики методики выполнения измерений соответствуют современному уровню развития иммуноанализа и позволяют с надлежащей точностью определять содержание зearаленонa в диапазоне от 50 до 800 мкг/кг в сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: микотоксины, зearаленон, иммуноферментный анализ.

**I. I. Vashkevich¹, T. V. Terentjeva¹, G. S. Kornilovich², L. N. Sukhenko²,
A. I. Shibeko², O. V. Sviridov¹**

¹*Institute of Bioorganic Chemistry National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

²*Central research laboratory of Grain Products, Minsk, Republic of Belarus*

A NEW KIT OF REAGENTS FOR THE ELISA DETERMINATION OF ZEARALENONE IN FEEDS AND FOODS

The EIA-ZEARALENONE reagent kit for the determination of zearalenone mycotoxin in feed and food by direct ELISA using microtitration plate has been developed and tested. The evaluated technico-analytical parameters of the kit and metrological characteristics of the technique of measurements correspond to the modern level of immunoassay development and provide the determination of zearalenone content in agricultural products in a range of 50 to 800 µg/kg with proper accuracy and precision.

Keywords: mycotoxins, zearalenone, ELISA.

**Е. К. Фомина¹, Л. П. Круль², Г. В. Бутовская¹, Е. В. Гринюк²,
О. В. Шахно¹, Е. Д. Скаковский³, Л. Ю. Тычинская³**

¹*НИИ физико-химических проблем БГУ, Минск, Республика Беларусь*

²*Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь*

³*Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ С СОПОЛИМЕРОМ АКРИЛАМИДА И АКРИЛАТА НАТРИЯ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР ¹³C

Методом спектроскопии ЯМР ¹³C установлено, что в состав макромолекулярных комплексов микроэлементов (меди, кобальта) с сополимерами акриламида и акрилата натрия в качестве лиганда входит только карбоксилатная функциональная группа макромолекулы. Показано, что высокая лабильность исследованных комплексов препятствует установлению их количественного состава методом спектроскопии ЯМР ¹³C. При определении качественного состава макромолекулярных комплексов методом спектроскопии ЯМР ¹³C условия проведения эксперимента (в первую очередь отношение концентраций функциональных групп сополимера, участвующих в комплексообразовании, и ионов металлов) необходимо подбирать с учетом величины парамагнитности иона микроэлемента. Обнаружено, что на взаимодействие ионов меди с карбоксилатной группой сополимера с образованием макромолекулярного комплекса влияет рН раствора. При переходе от нейтральной среды к кислой (рН 5) взаимодействие усиливается, а в щелочной среде (рН 9) комплекс практически не образуется.

Ключевые слова: макромолекулярные металлокомплексы, сополимер акриламида с акрилатом натрия, спектроскопия ЯМР ¹³C, парамагнитные ионы Cu(II), Mn(II), Co(II).

**E. K. Fomina¹, L. P. Kru², G. V. Butovskaya¹, E. V. Grinyuk²,
O. V. Shahno¹, E. D. Skakovsky³, L. Y. Tychinskaya³**

¹Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

²Belarussian State University, Minsk, Republic of Belarus

³Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

STRUCTURE DETERMINATION OF THE MACROMOLECULAR COMPLEXES OF MICROELEMENTS WITH ACRYLAMIDE AND SODIUM ACRYLATE COPOLYMERS BY ¹³C NMR SPECTROSCOPY

The structure of macromolecular complexes of microelements (copper, cobalt) with copolymers of acrylamide and sodium acrylate has been shown by ¹³C NMR spectroscopy to include only the carboxylate functional group of the macromolecule as a ligand. The stoichiometry of the complexes studied could not be determined by ¹³C NMR spectroscopy due to a high lability of the complexes. In determining the qualitative structure of macromolecular complexes by ¹³C NMR spectroscopy experimental conditions (primarily the concentration ratio of the functional groups of the copolymer involved in the complexation, and metal ions) must be selected considering a paramagnetism value of the metal ion. It was found that the solution's pH influences on the interaction of copper ion with a carboxylate group of the copolymer to form a macromolecular complex. Interaction increases in the transition from the neutral to acidic (pH 5) medium, and complex practically not formed in alkaline medium (pH 9).

Keywords: macromolecular metal complexes, copolymer of acrylamide with sodium acrylate, ¹³C NMR spectroscopy, paramagnetic ions of Cu(II), Mn(II), Co(II).

**И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко,
Е. В. Ануфриева, Е. А. Смолячкова**

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Республики Беларусь

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ

Рассмотрены перспективы энерготехнологического использования биомассы в мире и Республике Беларусь, проведен сравнительный анализ способов ее термохимической деструкции, представлены экспериментальные исследования пиролиза их смесевых композиций с торфом.

Ключевые слова: биомасса, пиролиз, торф, опилки, смесевые композиции, пиролизный газ, кокс, теплота сгорания.

**I. I. Lishtvan, U. M. Dudarchik, V. M. Kraiko,
E. V. Anufrieva, E. A. Smoljachkova**

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

ENERGY AND TECHNOLOGY USE OF BIOMASS

The prospects of the energy and technology use of biomass in the world and in the Republic of Belarus are considered, the comparative analysis of ways of its thermochemical degradation is performed, the experimental studies of the pyrolysis of mixed compositions with peat are presented.

Keywords: biomass, pyrolysis, peat, sawdust, mixed composition, pyrolysis gas, coke, heat of combustion.

**Е. В. Лаевская¹, Е. В. Воробьева¹, Н. П. Крутько¹,
П. Д. Воробьев¹, Д. В. Чередниченко¹, М. Т. Насковец²**

¹Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ФЛОКУЛИРОВАННЫХ ПОЛИАКРИЛАМИДОМ СОЛЕВЫХ ДИСПЕРСИЙ ГЛИНЫ

В лабораторных условиях смоделированы и исследованы технологические процессы флокуляции, фазового разделения и структурообразования солевых дисперсий глины. Изучено влияние полимера (полиакриламида), введенного на стадии флокуляции, на свойства образующихся продуктов. Установлено, что в интервале концентраций полимера 0,01–0,2 мг/г плотность и влагоотдача флокул увеличиваются в 1,4–1,6 раза. Предельное напряжение сдвига дисперсии, прочность и количество гранул заданного размера изменяются экстремально с максимумом при концентрации полиакриламида 0,2 мг/г. Введение полиакриламида в солевую дисперсию на стадии структурообразования уменьшает предельное напряжение сдвига, плотность и пластичность дисперсии в 1,4–1,7 раза по сравнению с вариантом, когда полимер добавлен на стадии флокуляции. Это обусловлено тем, что на стадии флокуляции макромолекулы полимера адсорбируются на частицах глины с образованием между ними полимерных мостиков, тогда как при структурообразовании полимер скрепляет более крупные глинистые агрегаты и прочность таких контактов меньше.

Результаты исследований позволили установить интервал концентраций полимерного флокулянта, обеспечивающий оптимальные параметры исследованных процессов и свойства образующихся продуктов. Полученные результаты использованы в технологии комплексной переработки глинодержащих отходов калийного производства.

Ключевые слова: полиакриламид, флокуляция, дисперсия, новый глинистый материал, структура, предельное напряжение сдвига, прочность гранул.

**E. V. Layeuskaya¹, E. V. Vorobieva¹, N. P. Krutko¹,
P. D. Vorobiov¹, D. V. Cherednichenko¹, M. T. Naskovets²**

¹*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

²*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*

STRUCTURIZATION OF SALINE CLAY DISPERSIONS FLOCCULATED BY POLYACRYLAMIDE

Under the laboratory conditions, processes of flocculation, phase separation and structurization of saline clay dispersion have been simulated and investigated. Effect of polymer (polyacrylamide) introduced at flocculation stage on properties of final products was studied. It has been found that at polymer concentrations of 0.01–0.2 mg/g, solid phase density and dewatering capability of flocs increase 1.4–1.6 times. Strength yield stress and optimal granules size have a maximum at polyacrylamide concentration of 0.2 mg/g of the disperse phase. Introduction of polyacrylamide into saline clay dispersion during structurization step reduces yield stress, density and plasticity 1.4–1.7 times, compared to adding the polymer at flocculation stage. This could be explained by adsorption of polymer macromolecules on the clay particles during flocculation step, to form bridges, whereas during structure formation step polymer binds larger clay aggregates and the strength of such contacts is weaker.

Results of the study allow to estimate a concentration range of polymeric flocculant which provides optimal parameters of the studied processes and properties of the final products. The results are used in the complex recycling technology of clay-containing wastes of potash production.

Keywords: polyacrylamide, flocculation, dispersion, new clay material, structure, yield stress, granules strength.

**А. Ю. Клюев¹, Н. Г. Козлов¹, Н. Р. Прокопчук², А. И. Ламоткин²,
А. Н. Проневич², Е. Д. Скаковский¹, И. А. Латышевич¹**

¹*Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь,*

²*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь*

ПОЛУЧЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРПЕНОИДНОМАЛЕИНОВЫХ АДДУКТОВ *

Обзор посвящен терпеноидномалеиновым аддуктам и их производным. Терпеноидномалеиновые аддукты находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Приводятся способы получения аддуктов, их свойства, вторичные продукты на их основе и применение в различных композиционных составах. В качестве сырья для получения аддуктов были использованы левопимаровая, абетиновая кислоты канифоли, компоненты терпентина, терпеновые углеводороды и твердые полимеры скипидара, а также канифольные масла, которые образуются в процессе получения канифоли и ее глицеринового эфира.

Ключевые слова: терпентин, канифоль, малеиновый ангидрид, терпеноидномалеиновые аддукты, малеопимаровая кислота, композиционные составы.

**A. Yu. Klyuev¹, N. G. Kozlov¹, N. R. Prokopchuk², A. I. Lamotkin²,
A. N. Pronevich², E. D. Skakovsky¹, I. A. Latyshevich¹**

¹*Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus,*

²*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*

PREPARATION, PROPERTIES AND APPLICATION OF TERPENOID-MALEIC ADDUCTS

The review is devoted to terpenoid-maleic adducts and their derivatives. Terpenoid-maleic adducts find wide application in various industries. In this review, the ways of adducts' preparation, their properties, afterproducts on their basis and application in various compositions are discussed. Levopimaric and abietic rosin acids, turpentine components, terpene hydrocarbons, solid turpentine polymers and rosin oils formed in production of rosin and its glycerol ester, have been used as raw materials for production of adducts.

Keywords: turpentine, rosin, maleic anhydride, terpenoid-maleic adducts, maleopimaric acid, composite preparations.