

# ДОКЛАДЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

Выходит шесть номеров в год

Журнал основан в июле 1957 года

---

МИНСК, БЕЛОРУССКАЯ НАУКА, 2016, ТОМ 60, № 3

---

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

Редакционная коллегия:

**В. Г. Гусаков** (главный редактор),

**А. В. Кильчевский** (заместитель главного редактора),

**С. Я. Килин** (заместитель главного редактора),

**С. А. Чижик** (заместитель главного редактора),

**И. М. Богдевич, П. А. Витязь, И. Д. Вологовский, И. В. Гайшун, С. В. Гапоненко,**

**А. Е. Дайнеко, И. В. Залуцкий, О. А. Ивашкевич, Н. А. Изобов, Н. С. Казак,**

**А. А. Коваленя, Ф. Ф. Комаров, И. В. Котляров, В. А. Лабунов, А. П. Ласковнев,**

**О. Н. Левко, А. И. Лесникович, В. Ф. Логинов, А. А. Махнач, А. А. Михалевич,**

**М. Е. Никифоров, В. А. Орлович, О. Г. Пенязьков, Ю. М. Плескачевский,**

**Н. С. Сердюченко, А. Ф. Смеянович, Л. М. Томильчик, С. А. Усанов,**

**Л. В. Хотылева, В. А. Хрипач, И. П. Шейко,**

ведущий редактор **Т. П. Петрович**

*Адрес редакции:*

220072, Минск, ул. Академическая, 1, к. 119,

тел. 284-19-19

[csl.bas-net.by/Web/Pages/magNAS.asp](http://csl.bas-net.by/Web/Pages/magNAS.asp)

E-mail: [doklady\\_nanb@mail.ru](mailto:doklady_nanb@mail.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

<b>Липницкий А. В.</b> Оценки отклонения решений линейных дифференциальных систем Миллионщикова от соответствующих тригонометрических сумм.....	5
<b>Корзюк В. И., Наумовец С. Н.</b> Классическое решение смешанной задачи для одномерного волнового уравнения с производными высокого порядка в граничных условиях.....	11
<b>Габасов Р., Дмитрук Н. М., Кириллова Ф. М.</b> Децентрализованное управление в линейно-квадратичной задаче при наличии запаздывания в информационном канале.....	18
<b>Янчевский В. И.</b> О циклических инвариантных башнях в involutive алгебрах с делением.....	25
<b>Гороховик В. В., Трофимович М. А.</b> Минимаксное и максиминное представления положительно однородных функций линейными функциями.....	29
<b>Забрейко П. П., Михайлов А. В.</b> О корректности некоторых классов несамосопряженных операторов.....	35

### ФИЗИКА

<b>Казак Н. С., Агашков А. В., Хило Н. А., Варанецкий А. М.</b> Особенности фокусировки света плоской линзой на основе структуры металл–диэлектрик.....	43
<b>Толкачева Е. А., Мурын Л. И., Коршунов Ф. П.</b> Локальные колебательные моды комплекса дивансия–два атома кислорода в кремнии.....	51

<b>Троянчук И. О., Бушинский М. В., Карпинский Д. В., Чобот А. Н., Терешко Н. В., Мантыцкая О. С., Чобот Г. М.</b> Кристаллическая структура и слабый ферромагнетизм мультиферроиков $Bi_{1-x}Ca_xFe_{1-x}Mn_xO_3$ ...	57
<b>Овсюк Е. М.</b> Нерелятивистское описание векторной частицы в расширяющейся Вселенной де Ситтера .....	63
<i>ХИМИЯ</i>	
<b>Круль Л. П., Бутовская Г. В., Шахно О. В., Рогачев А. А., Рогачев А. В., Тапальский Д. В., Скаковский Е. Д., Тычинская Л. Ю.</b> Механизм формирования полилактидных покрытий из активной газовой фазы .....	72
<b>Петкевич А. В., Еремин А. Н., Агабеков В. Е., Семашко Т. В., Михайлова Р. В.</b> Формирование нанокомпозита, содержащего железо и катионные полимеры .....	79
<b>Поткин В. И., Клецков А. В., Лидер Е. В., Лавренова Л. Г., Золотарь Р. М.</b> Синтез и структура комплексов хлорида и бромиды меди(II) с 4,5-дихлоризотиазол- <i>N</i> -(2-гидроксиэтил)-3-карбоксамидом ...	86
<b>Куприенко О. С., Шабуня П. С., Фатыхова С. А., Свиридов О. В.</b> Синтез и параметры взаимодействия с антителами нового биоконъюгата хлорамфеникол-диэтилентриаминтетраацетат европия .....	93
<i>БИОЛОГИЯ</i>	
<b>Орловская О. А., Вакула С. И., Кубрак С. В., Хотылёва Л. В., Кильчевский А. В.</b> Оценка полиморфизмов генов <i>LcyE</i> и <i>CrtRBI</i> , ассоциированных с повышенным уровнем провитамина А в зерне кукурузы ( <i>Zea mays</i> L.), в коллекции образцов различного эколого-географического происхождения.....	100
<b>Алехнович А. В., Гукасян Э. Х.</b> Сравнительный анализ роста длиннопалого рака из белорусского оз. Соминское и армянского оз. Севан .....	105
<i>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</i>	
<b>Ковтун В. А., Пасовец В. Н., Плескачевский Ю. М., Миховски М., Харламов А. И.</b> Триботехнические и прочностные характеристики гибридных нанонаполненных металлополимерных порошковых композитов .....	108
<i>СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</i>	
<b>Трусевич Н. Э., Ничипорович С. А., Кулак М. И.</b> Имитационно-аналитическая модель планирования и реализации управленческого цикла в современных организационных структурах .....	114
<i>АГРАРНЫЕ НАУКИ</i>	
<b>Лапа В. В., Михайловская Н. А.</b> Активность процессов минерализации и гумификации в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкоуглинистой почве в зависимости от применения удобрений .....	122

---

ДОКЛАДЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ. 2016. Т. 60, № 3

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,  
свидетельство о регистрации № 387 от 18.05.2009.

---

Редактор Т. П. Петрович  
Компьютерная верстка Ю. А. Агейчик

Сдано в набор 07.06.2016. Выпуск в свет 24.06.2016. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 160 экз. Заказ 130.

Цена номера: индивидуальная подписка – 102 900 руб.; ведомственная подписка – 252 168 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.

© «Издательский дом «Беларуская навука».  
Доклады НАН Беларуси, 2016

# DOKLADY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

Published bimonthly

The journal has been published since July, 1957

---

MINSK, BELORUSSKAYA NAUKA, 2016, Vol. 60, N 3

---

Founder – National Academy of Sciences of Belarus

Editorial Board:

**V. G. Gusakov** (Editor-in-Chief),  
**S. Ya. Kilin** (Associate Editor-in-Chief),  
**A. V. Kilchevsky** (Associate Editor-in-Chief),  
**S. A. Chizhik** (Associate Editor-in-Chief),  
**I. M. Bogdevich, A. Ye. Daineko, I. V. Gaishun, S. V. Gaponenko, O. A. Ivashkevich,**  
**N. A. Izobov, N. S. Kazak, L. V. Khotyleva, V. A. Khripach,**  
**A. A. Kovalenya, F. F. Komarov, I. V. Kotlyarov, V. A. Labunov, A. P. Laskovnev,**  
**O. N. Levko, A. I. Lesnikovich, V. F. Loginov, A. A. Makhnach, A. A. Mikhalevich,**  
**M. Ye. Nikiforov, V. A. Orlovich, O. G. Penyazkov, Yu. M. Pleskachevsky,**  
**N. S. Serduchenko, I. P. Sheiko, A. F. Smeyanovich, L. M. Tomilchik,**  
**S. A. Usanov, P. A. Vitiaz, I. D. Volotovskii, I. V. Zalutsky,**  
lead editor **T. P. Petrovich**

*Address of the Editorial Office:*

220072, Minsk, 1 Akademicheskaya Str., room 119

telephone: 284-19-19

*csl.bas-net.by/Web/Pages/magNAS.asp*

*E-mail: doklady\_nanb@mail.ru*

## CONTENTS

### MATHEMATICS

<b>Lipnitskii A. V.</b> Estimated deviation of the solutions of Millionschikov's linear differential systems from the corresponding trygonometric sums .....	5
<b>Korzyuk V. I., Naumavets S. N.</b> Classical solution of a mixed problem for a one-dimensional wave equation with higher-order derivatives in the boundary conditions .....	11
<b>Gabasov R., Dmitruk N. M., Kirillova F. M.</b> Distributed control for a linear-quadratic problem subject to a delay in the communication network .....	18
<b>Yanchevskii V. I.</b> Cyclic invariant towers in division algebras with involutions .....	25
<b>Gorokhovich V. V., Trafimovich M. A.</b> Minimax and maximin representations of positively homogeneous functions through linear functions .....	29
<b>Zabreiko P. P., Mikhailov A. V.</b> Correctness of some classes of non self-adjoint operators .....	35

## PHYSICS

- Kazak N. S., Agashkov A. V., Khilo N. A., Varanetski A. M.** Peculiarities of light focusing with a flat lens based on the metal-dielectric structure ..... 43
- Tolkacheva E. A., Murin L. I., Korshunov F. P.** Local vibrational modes of the complex consisting of divacancy and two oxygen atoms in silicon ..... 51
- Troyanchuk I. O., Bushinsky M. V., Karpinsky D. V., Chobot A. N., Tereshko N. V., Mantyskaya O. S., Chobot G. M.** Crystal structure and weak ferromagnetism of  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  multiferroics ..... 57
- Ovsiyuk E. M.** Non-relativistic description for a spin 1 particle in expanding De Sitter universe ..... 63

## CHEMISTRY

- Krul L. P., Butovskaya G. V., Shakhno O. V., Rogachev A. A., Rogachev A. V., Tapalski D. V., Skakovski E. D., Tychinskaya L. Yu.** Mechanism of formation of polylactide coatings from the active gas phase ..... 72
- Petkevich A. V., Eryomin A. N., Agabekov V. E., Semashko T. V., Mikhailova R. V.** Formation of nanocomposite, containing iron and cationic polymers..... 79
- Potkin V. I., Kletskov A. V., Lider E. V., Lavrenova L. G., Zolotar R. M.** Synthesis and structure of complexes of copper(II) chloride and bromide with 4,5-dichloroiso-thiazole-*N*-(2-hydroxyethyl)-3-carboxamide ..... 86
- Kuprienko O. S., Shabunya P. S., Fatykhava S. A., Sviridov O. V.** Synthesis and parameters of interaction with antibodies of a new bioconjugate of chloramphenicol with europium diethylenetriaminetetraacetate ..... 93

## BIOLOGY

- Orlovskaya O. A., Vakula S. I., Kubrak S. V., Khotyleva L. V., Kilchevsky A. V.** Evaluation of *LcyE* and *CrtRBI* gene polymorphisms associated with an increased content of provitamin A in maize grain (*Zea mays* L.) in the collection of samples of different eco-geographical origin ..... 100
- Alekhovich A. V., Ghukasyan E. Kh.** Comparative analysis of the narrow-clawed crayfish growth patterns in Lake Sominskoe in Belarus and in Lake Sevan in Armenia ..... 105

## TECHNICAL SCIENCES

- Kovtun V. A., Pasovets V. N., Pleskachevsky Yu. M., Mihovski M., Harlamov A. I.** Triboengineering and strength characteristics of the hybrid nanofilled metal-polymer powder composites ..... 108

## SOCIAL SCIENCES AND HUMANITIES

- Trusevich N. E., Nichiporovich S. A., Kulak M. I.** Simulation and analytical model of planning and realization of the administrative cycle in modern organizational structures ..... 114

## AGRARIAN SCIENCES

- Lapa V. V., Michailovskaya N. A.** Activity of mineralization and humification processes in high-fertility dermo-podzolic sandy-loam soil depending on the fertilizer application ..... 122

*А. В. ЛИПНИЦКИЙ*

**ОЦЕНКИ ОТКЛОНЕНИЯ РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ  
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ МИЛЛИОНЩИКОВА  
ОТ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СУММ**

*(Представлено академиком Н. А. Изобовым)*

*Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
ya.andrei173@yandex.by*

Получена оценка нормы решений линейных дифференциальных систем из класса, включающего известные примеры почти периодических систем, неправильных по Ляпунову, с помощью специальных тригонометрических сумм.  
*Ключевые слова:* линейная дифференциальная система, тригонометрическая сумма, оценка решений.

*A. V. LIPNITSKII*

**ESTIMATED DEVIATION OF THE SOLUTIONS OF MILLIONSCHIKOV'S LINEAR DIFFERENTIAL  
SYSTEMS FROM THE CORRESPONDING TRYGNOMETRIC SUMS**

*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
ya.andrei173@yandex.by*

The estimated norm of the solutions to the linear differential systems from special classes is obtained with the use of special trygonometric sums.

*Keywords:* linear differential system, trygonometric sum, estimation of solutions.

*Академик В. И. КОРЗЮК<sup>1</sup>, С. Н. НАУМОВЕЦ<sup>2</sup>*

**КЛАССИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ СМЕШАННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО  
ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ С ПРОИЗВОДНЫМИ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА  
В ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

*<sup>1</sup>Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
korzyuk@bsu.by*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь  
e-cveta@tut.by*

В данной работе рассмотрена смешанная задача, где в качестве одного из граничных условий задана производная искомой функции произвольного порядка.

*Ключевые слова:* дифференциальные уравнения, гиперболические уравнения, частные производные, граничные условия, условия Коши, условия согласования, классическое решение.

*V. I. KORZYUK, S. N. NAUMAVETS*

**CLASSICAL SOLUTION OF A MIXED PROBLEM FOR A ONE-DIMENSIONAL WAVE EQUATION  
WITH HIGHER-ORDER DERIVATIVES IN THE BOUNDARY CONDITIONS**

*<sup>1</sup>Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
korzyuk@bsu.by*

*<sup>2</sup>Belarusian State University, Minsk, Belarus  
e-cveta@tut.by*

In this article we consider the mixed problem where the derivative of the unknown function of arbitrary order is set as one of the boundary conditions.

*Keywords:* differential equations, hyperbolic equations, partial derivatives, boundary conditions, Cauchy conditions, agreement conditions, classical solution.

*Р. ГАБАСОВ<sup>1</sup>, Н. М. ДМИТРУК<sup>1</sup>, член-корреспондент Ф. М. КИРИЛЛОВА<sup>2</sup>*

## **ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ ЗАДАЧЕ ПРИ НАЛИЧИИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ КАНАЛЕ**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь  
dmitrukn@bsu.by*

*<sup>2</sup>Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
kirillova.f@yandex.by*

Исследуется задача минимизации квадратичного функционала на траекториях группы линейных взаимосвязанных систем. Рассматривается случай, когда каждая система имеет свой локальный регулятор, и в несовершенном канале связи между ними присутствует запаздывание. Построена децентрализованная обратная связь, линейная по текущему состоянию и запаздывающей информации. Получены оценки субоптимальности децентрализованных управлений в рассматриваемой задаче.

*Ключевые слова:* линейно-квадратичная задача оптимального управления, обратная связь, децентрализованное управление.

*R. GABASOV<sup>1</sup>, N. M. DMITRUK<sup>1</sup>, F. M. KIRILLOVA<sup>2</sup>*

## **DISTRIBUTED CONTROL FOR A LINEAR-QUADRATIC PROBLEM SUBJECT TO A DELAY IN THE COMMUNICATION NETWORK**

*<sup>1</sup>Belarussian State University, Minsk, Belarus  
dmitrukn@bsu.by*

*<sup>2</sup>Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
kirillova.f@yandex.by*

This article deals with a linear-quadratic optimal control problem for a group of dynamically coupled systems. It is assumed that each system has its own local controller, and a delay is present in the communication network. A distributed feedback control, which is linear in current and delayed states, is constructed and a sub-optimality estimate for the distributed control is obtained.

*Keywords:* linear-quadratic optimal control problem, feedback, distributed control.

*Академик В. И. ЯНЧЕВСКИЙ*

## **О ЦИКЛИЧЕСКИХ ИНВАРИАНТНЫХ БАШНЯХ В ИНВОЛЮТИВНЫХ АЛГЕБРАХ С ДЕЛЕНИЕМ**

*Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
yanch@im.bas-net.by*

Целью сообщения является установление для широкого класса алгебр с делением с унитарными инволюциями достаточных условий для существования в них циклических инвариантных башен, что позволяет во многих случаях установить справедливость конгруэнц-теоремы для специальных гензелевых алгебр с делением.

*Ключевые слова:* алгебры с унитарными инволюциями, циклические алгебры с делением, вложения алгебр с инволюциями в циклические.

*V. I. YANCHEVSKIĬ*

## **CYCLIC INVARIANT TOWERS IN DIVISION ALGEBRAS WITH INVOLUTIONS**

*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
yanch@im.bas-net.by*

The aim of this article is to obtain sufficient conditions for existence of cyclic invariant towers for a wide class of division algebras with unitary involutions. This gives us the opportunity to prove the congruence theorem for special Henselian division algebras.

*Keywords:* algebras with unitary involutions, cyclic division algebras, embedding algebras with involutions to cyclic ones.

*Член-корреспондент В. В. ГОРОХОВИК<sup>1</sup>, М. А. ТРОФИМОВИЧ<sup>2</sup>*

## **МИНИМАКСНОЕ И МАКСИМИННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНО ОДНОРОДНЫХ ФУНКЦИЙ ЛИНЕЙНЫМИ ФУНКЦИЯМИ**

*<sup>1</sup>Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
gorokh@im.bas-net.by*

*<sup>2</sup>Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Гомель, Беларусь  
marvoitiva@tut.by*

Для функций различных (непрерывных, липшицевых, разностно-сублинейных, кусочно-линейных) подпространств пространства положительно однородных функций доказано существование и указаны характеристические свойства двухиндексного семейства линейных функций, задающего одновременно минимаксное и максиминное представления таких функций.

*Ключевые слова:* положительно однородные функции, минимаксное представление, условие Липшица, разностная сублинейность, кусочная линейность.

*V. V. GOROKHOVIK<sup>1</sup>, M. A. TRAFIMOVICH<sup>2</sup>*

## **MINIMAX AND MAXIMIN REPRESENTATIONS OF POSITIVELY HOMOGENEOUS FUNCTIONS THROUGH LINEAR FUNCTIONS**

*<sup>1</sup>Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
gorokh@im.bas-net.by*

*<sup>2</sup>P. O. Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus  
marvoitiva@tut.by*

For functions, which belong to different (continuous, Lipschitz, difference-sublinear, piecewise-linear) subspaces of the space of positively homogeneous functions, we prove the existence and establish the characteristic properties of a two-index family of linear functions which provides simultaneously both minimax and maximin representations of such functions.

*Keywords:* positively homogeneous functions, minimax representation, Lipschitz condition, difference sublinearity, piecewise linearity.

*П. П. ЗАБРЕЙКО, А. В. МИХАЙЛОВ*

## **О КОРРЕКТНОСТИ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ НЕСАМОСОПРЯЖЕННЫХ ОПЕРАТОРОВ**

*(Представлено членом-корреспондентом В. В. Гороховиком)*

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь  
zabreiko@mail.ru; artostby@mail.ru*

В сообщении изучаются действующие в гильбертовом пространстве  $X$  некоторые классы несамосопряженных операторов, для которых справедливо утверждение теоремы М. А. Красносельского о сходимости последовательных приближений для уравнений с самосопряженными операторами в критическом случае. Для некоторых классов операторов в гильбертовом и банаховых пространствах изучаются также инвариантные подпространства, в которых утверждение теоремы М. А. Красносельского оказывается справедливым.

*Ключевые слова:* последовательные приближения, нормальные, квазинормальные, субнормальные и гипонормальные операторы в гильбертовом пространстве, корректные и \*-корректные операторы в банаховых пространствах.

*P. P. ZABREIKO, A. V. MIKHAILOV*

## **CORRECTNESS OF SOME CLASSES OF NON SELF-ADJOINT OPERATORS**

*Belarusian State University, Minsk, Belarus  
zabreiko@mail.ru; artostby@mail.ru*

The article deals some classes of non self-adjoint operators acting in a Hilbert space  $X$ , for which the statement of the M.A. Krasnoselski theorem on the convergence of successive approximations for equations with self-adjoint operators in the critical case is true. For some classes of operators in Hilbert and Banach spaces, we also study invariant subspaces, in which the M.A. Krasnoselski theorem is to be valid.

*Keywords:* successive approximations, normal, quasinormal, subnormal and hyponormal operators on a Hilbert space, correct and \*-correct operators in Banach spaces.

*Академик Н. С. КАЗАК, А. В. АГАШКОВ, Н. А. ХИЛО, А. М. ВАРАНЕЦКИЙ*

## **ОСОБЕННОСТИ ФОКУСИРОВКИ СВЕТА ПЛОСКОЙ ЛИНЗОЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ–ДИЭЛЕКТРИК**

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
lod@ifanbel.bas-net.by; a.agashkov@ifanbel.bas-net.by; n.khilo@ifanbel.bas-net.by; varanetck@mail.ru*

Показано, что линзы на основе структуры металл–диэлектрик (МД) энергетически наиболее эффективны в ультрафиолетовом и фиолетовом диапазонах длин волн. Фазовые характеристики плоской линзы как в ультрафиолетовом, так и в видимом диапазонах для *p*-поляризованного света имеют вогнутую форму, что и является необходимым условием фокусировки. Впервые проведено прямое измерение угловой зависимости фазового сдвига световой волны, прошедшей через плоскую оптически тонкую двухслойную МД-структуру (Ag/SiO<sub>2</sub>). Экспериментально установлено, что для падающей сферической волны с радиальной поляризацией (*p*-поляризация) реализуется режим фокусирования, а с азимутальной поляризацией (*s*-поляризация) реализуется режим каналирования.

*Ключевые слова:* гиперболический метаматериал, структура металл–диэлектрик, плоская линза, субволновое разрешение, дифференциальный поляризационный интерферометр.

*N. S. KAZAK, A. V. AGASHKOV, N. A. KHILO, A. M. VARANETSKI*

## **PECULIARITIES OF LIGHT FOCUSING WITH A FLAT LENS BASED ON THE METAL–DIELECTRIC STRUCTURE**

*B. I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
lod@ifanbel.bas-net.by; a.agashkov@ifanbel.bas-net.by; n.khilo@ifanbel.bas-net.by; varanetck@mail.ru*

It is shown that lenses based on the metal – dielectric (MD) structure are energetically more efficient in ultraviolet and violet ranges of wavelengths. Phase characteristics of flat lenses in ultraviolet as well as in visible ranges for the *p*-polarized light have a concave shape, which is the necessary condition of focusing. For the first time, direct measurement is made of the flat optically thin two-layered MD-structure (Ag/SiO<sub>2</sub>). It has been found experimentally that for an incident spherical wave with radial polarization (*p*-polarization), the focusing regime is realized, and with azimuthal polarization (*s*-polarization) the channeling regime is realized.

*Keywords:* hyperbolic metamaterial, structure metal–dielectric, flat lens, sub-wavelength resolution, walk-off interferometer.

*Е. А. ТОЛКАЧЕВА, Л. И. МУРИН, член-корреспондент Ф. П. КОРШУНОВ*

## **ЛОКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ МОДЫ КОМПЛЕКСА ДИВАКАНСИЯ–ДВА АТОМА КИСЛОРОДА В КРЕМНИИ**

*НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь  
talkachova@physics.by; murin@ifftp.bas-net.by; korshun@ifftp.bas-net.by*

Методом низкотемпературной ИК фурье-спектроскопии исследованы процессы образования и отжига вакансионно-кислородных комплексов V<sub>n</sub>O<sub>m</sub> в облученных быстрыми электронами кристаллах кремния, полученных методом Чохральского. Приведен ряд аргументов, позволяющих утверждать, что полоса поглощения у 829,3 см<sup>-1</sup> является локальной колебательной модой комплекса дивакансия–два атома кислорода V<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

*Ключевые слова:* кремний, облучение, отжиг, вакансионно-кислородные комплексы, ИК поглощение.

*E. A. TOLKACHEVA, L. I. MURIN, F. P. KORSHUNOV*

## **LOCAL VIBRATIONAL MODES OF THE COMPLEX CONSISTING OF DIVACANCY AND TWO OXYGEN ATOMS IN SILICON**

*Scientific and Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
talkachova@physics.by; murin@ifftp.bas-net.by; korshun@ifftp.bas-net.by*

The processes of formation and annealing of vacancy–oxygen-related V<sub>n</sub>O<sub>m</sub> complexes in Czochralski-grown silicon crystals irradiated with fast electrons have been investigated by means of low-temperature IR Fourier spectroscopy. A number of arguments are presented confirming the identification of the vibrational absorption band at 829.3 cm<sup>-1</sup> as arising from the V<sub>2</sub>O<sub>2</sub> defect.

*Keywords:* silicon, irradiation, annealing, vacancy-oxygen-related complexes, IR absorption.

Член-корреспондент И. О. ТРОЯНЧУК<sup>1</sup>, М. В. БУШИНСКИЙ<sup>1</sup>, Д. В. КАРПИНСКИЙ<sup>1</sup>,  
А. Н. ЧОБОТ<sup>1</sup>, Н. В. ТЕРЕШКО<sup>1</sup>, О. С. МАНТЫЦКАЯ<sup>1</sup>, Г. М. ЧОБОТ<sup>2</sup>

## КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И СЛАБЫЙ ФЕРРОМАГНЕТИЗМ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$

<sup>1</sup>НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь  
*troyan@physics.by; bushinsky@physics.by; karpinsky@iftp.bas-net.by; a.n.chobot@tut.by;*  
*tereshko@physics.by; mantytskaja@physics.by*

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь  
*g.m.chobot@tut.by*

Проведено исследование кристаллической структуры и магнитных свойств мультиферроиков  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  ( $x \leq 0,22$ ). Обнаружена следующая последовательность кристаллоструктурных превращений в стехиометрических составах: ромбоэдрическая (пр. группа R3c) полярная фаза ( $x \leq 0,18$ ), орторомбическая (пр. группа Pnma) неполярная фаза ( $x > 0,19$ ). Полярная фаза является антиферромагнитной и проявляет метамagnetизм при  $x < 0,10$ . Полярная и неполярная фазы являются слабыми ферромагнетиками при комнатной температуре со спонтанной намагниченностью, близкой к 0,07 emu/g ( $x = 0,18$  и  $x = 0,22$ ). Понижение температуры ведет к переходу в состояние, близкое к антиферромагнитному.

*Ключевые слова:* мультиферроики, магнитные материалы, дифракция, фазовые переходы, намагниченность.

*I. O. TROYANCHUK<sup>1</sup>, M. V. BUSHINSKY<sup>1</sup>, D. V. KARPINSKY<sup>1</sup>, A. N. CHOBOT<sup>1</sup>,  
N. V. TERESHKO<sup>1</sup>, O. S. MANTYTSKAYA<sup>1</sup>, G. M. CHOBOT<sup>2</sup>*

## CRYSTAL STRUCTURE AND WEAK FERROMAGNETISM OF $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ MULTIFERROICS

<sup>1</sup>Scientific and Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
*troyan@physics.by; bushinsky@physics.by; karpinsky@iftp.bas-net.by; a.n.chobot@tut.by; tereshko@physics.by;*  
*mantytskaja@physics.by*

<sup>2</sup>Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus  
*g.m.chobot@tut.by*

The crystal structure and magnetic properties of  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$  ( $x \leq 0.22$ ) have been studied. It was shown that the rhombohedral (R3c) polar phase at  $x > 0.18$  transforms into the nonpolar orthorhombic phase (Pnma). The polar phase is antiferromagnetic and metamagnetic at  $x < 0.1$ . The polar and nonpolar phases are weak ferromagnets with remnant magnetization around 0.07 emu/g ( $x = 0.18$  and  $x = 0.22$ ). Decreasing the temperature leads to the state close to antiferromagnetic.

*Keywords:* multiferroics, magnetic materials, diffraction, phase transitions, magnetization.

*Е. М. ОВСИЮК*

## НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЕ ОПИСАНИЕ ДЛЯ ВЕКТОРНОЙ ЧАСТИЦЫ В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ ДЕ СИТТЕРА

*(Представлено членом-корреспондентом Л. М. Томильчиком)*

*Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина, Мозырь, Беларусь*  
*e.ovsiyuk@mail.ru*

В расширяющемся пространстве–времени де Ситтера частица со спином 1 исследована в нерелятивистском приближении Паули. После разделения переменных в релятивистском уравнении Даффина–Кеммера–Петье в системе из 10 уравнений по переменным  $(t, r)$  выполнена процедура нерелятивистского приближения, в результате задача сведена к трем зацепляющимся дифференциальным уравнениям второго порядка. Требования диагонализации оператора пространственной четности позволяют разбить систему на  $(1 + 2)$  уравнений. Полученные уравнения четвертого порядка решаются с помощью метода факторизации, что позволяет свести задачу к анализу уравнений второго порядка. Таким способом уравнение Паули для частицы со спином 1 в расширяющейся Вселенной де Ситтера решено точно: получены три серии состояний и соответствующие им правила квантования спектрального параметра.

*Ключевые слова:* расширяющаяся Вселенная де Ситтера, частица со спином 1, нерелятивистское приближение Паули.

## NON-RELATIVISTIC DESCRIPTION FOR A SPIN 1 PARTICLE IN EXPANDING DE SITTER UNIVERSE

Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin, Mozyr, Belarus  
e.ovsiyuk@mail.ru

For expanding de Sitter space-time, a spin 1 particle is investigated in the non-relativistic Pauli approximation. After separation of the variables in the relativistic Duffin–Kemmer–Petiau equation, the procedure of non-relativistic approach is performed for the system of 10 equations in the variables  $(t, r)$ . As a result, the problem reduces to three second-order related differential equations. Requirement of diagonalization of the parity operator allows the system to be split into  $(1 + 2)$  subsystems. The fourth-order equations obtained are solved with the help of the factorization method, which permits the problem to be reduced to the analysis of second-order equations. In this way, the Pauli equation for a spin 1 particle in the expanding De Sitter universe is solved exactly: three series of states and the relevant rules of quantization of the spectral parameter are obtained.

*Keywords:* expanding de Sitter universe, particle with spin 1, non-relativistic Pauli approximation.

Л. П. КРУЛЬ<sup>1</sup>, Г. В. БУТОВСКАЯ<sup>2</sup>, О. В. ШАХНО<sup>1</sup>, А. А. РОГАЧЕВ<sup>3</sup>,  
член-корреспондент А. В. РОГАЧЕВ<sup>4</sup>, Д. В. ТАПАЛЬСКИЙ<sup>5</sup>,  
Е. Д. СКАКОВСКИЙ<sup>6</sup>, Л. Ю. ТЫЧИНСКАЯ<sup>6</sup>

## МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИЛАКТИДНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ АКТИВНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь  
krul@bsu.by; shahno1990@mail.ru

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт физико-химических проблем БГУ, Минск, Беларусь  
galina\_butovskaya@mail.ru

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь  
rogachev78@mail.ru

<sup>4</sup>Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь  
priem.kom@gsu.by

<sup>5</sup>Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь  
tapalskiy@gmail.com

<sup>6</sup>Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
spektr@ifoch.bas-net.by; sed@ifoch.bas-net.by

Методами спектроскопии ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C и поляриметрии установлено, что при формировании тонких пленок поли-L-лактида путем осаждения из активной газовой фазы происходит деструкция исходного полимера до крупных фрагментов с сохранением полимерного состояния вещества. Одновременно конфигурационные превращения макромолекулы приводят к увеличению содержания в ней D-звеньев с 4 до 12 мол. %, в результате чего исходный аморфно-кристаллический полимер превращается в аморфный. Переход поли-L-лактида в тонкопленочное состояние сопровождается изменением не только фазового, но и релаксационного состояния полимера, что является дополнительной причиной ускорения высвобождения из пленки биоцидных добавок.

*Ключевые слова:* полилактид, активная газовая фаза, тонкие пленки, осаждение, деструкция.

L. P. KRUL<sup>1</sup>, G. V. BUTOVSKAYA<sup>2</sup>, O. V. SHAKHNO<sup>1</sup>, A. A. ROGACHEV<sup>3</sup>, A. V. ROGACHEV<sup>4</sup>,  
D. V. TAPALSKI<sup>5</sup>, E. D. SKAKOVSKI<sup>6</sup>, L. Yu. TYCHINSKAYA<sup>6</sup>

## MECHANISM OF FORMATION OF POLYLACTIDE COATINGS FROM THE ACTIVE GAS PHASE

<sup>1</sup>Belarusian State University, Minsk, Belarus  
krul@bsu.by; shahno1990@mail.ru

<sup>2</sup>Institute for Physico-Chemical Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus  
galina\_butovskaya@mail.ru

<sup>3</sup>Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus  
rogachev78@mail.ru

<sup>4</sup>Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus  
priem.kom@gsu.by

<sup>5</sup>Gomel State Medical University, Gomel, Belarus  
tapalskiy@gmail.com

<sup>6</sup>Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
spektr@ifoch.bas-net.by; sed@ifoch.bas-net.by

The mechanism of deposition of a poly-L-lactide film from the active gas phase has been shown to be associated with destructing a macromolecule into large fragments rather than with depolymerizing a poly-L-lactide film to a monomer followed by its polycondensation on substrate. The transformation of the initial polymer powder into a thin film under the great energetic effect is accompanied by decreasing the molecule mass, while the D-isomer content increases from 4 to 12 %. In so doing, not only the phase state of the polymer changes from semi-crystalline to amorphous one, but the poly-L-lactide relaxation state is transformed from glass to rubber one; these changes could promote an accelerated release of different biocide additives from the film.

*Keywords:* polylactide, active gas phase, thin films, deposition, degradation.

А. В. ПЕТКЕВИЧ<sup>1</sup>, А. Н. ЕРЕМИН<sup>1</sup>, академик В. Е. АГАБЕКОВ<sup>1</sup>,  
Т. В. СЕМАШКО<sup>2</sup>, Р. В. МИХАЙЛОВА<sup>2</sup>

## ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТА, СОДЕРЖАЩЕГО ЖЕЛЕЗО И КАТИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ

<sup>1</sup>Институт химии новых материалов НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
m\_a\_w1987@mail.ru; yan47@mail.ru; sekretar@ichnm.basnet.by

<sup>2</sup>Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
microbio@mbio.bas-net.by

Чайный экстракт (ЧЭ) и пермеат культуральной жидкости (ПКЖ) *Penicillium adametzii* ЛФ F-2044.1 использованы в процессе получения железосодержащего наноконкомпозита ПВП-Fe-ПЭИ, включающего поливинилпирролидон (ПВП; 24 кДа) и полиэтиленимин (ПЭИ; 1800 Да). ЧЭ или ПКЖ добавляли в реакционный раствор, или же полученный золь ПВП-Fe-ПЭИ вводили в их среду. Композит ПВП-Fe-ПЭИ образуется в присутствии ЧЭ, в то время как ПКЖ связывает Fe<sup>3+</sup>, а не восстанавливает его. Нуль-валентное железо можно получить при уменьшении концентрации ПКЖ и увеличении концентрации NaBH<sub>4</sub>. Композит ПВП-Fe-ПЭИ конъюгирован с периодат-окисленным декстраном T20.

*Ключевые слова:* наночастицы железа, синтез наноконкомпозитов, поливинилпирролидон, полиэтиленимин, чайный экстракт, пермеат культуральной жидкости.

A. V. PETKEVICH<sup>1</sup>, A. N. ERYOMIN<sup>1</sup>, V. E. AGABEKOV<sup>1</sup>, T. V. SEMASHKO<sup>2</sup>, R. V. MIKHAYILOVA<sup>2</sup>

## FORMATION OF NANOCOMPOSITE, CONTAINING IRON AND CATIONIC POLYMERS

<sup>1</sup>Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
m\_a\_w1987@mail.ru; yan47@mail.ru; sekretar@ichnm.basnet.by

<sup>2</sup>Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
microbio@mbio.bas-net.by

Tea extracts (TE) and permeate of culture liquid (PCL) of *Penicillium adametzii* LF F-2044.1 were used in forming of iron-containing nanocomposite PVP-Fe-PEI including polyvinylpyrrolidone (PVP; 24 kDa) and polyethyleneimine (PEI; 1800 Da). Either TE or PCL were added to the reaction mixture or PVP-Fe-PEI was introduced into TE or PCL. PVP-Fe-PEI composite is formed with TE. PCL was associated with Fe<sup>3+</sup> but don't reduce its. Zero-valent iron can be produced in decreasing PCL concentration and increasing NaBH<sub>4</sub> concentration. PVP-Fe-PEI composite was conjugated to periodate-oxidized dextran T20.

*Keywords:* iron nanoparticles, nanocomposites synthesis, polyvinylpyrrolidone, polyethyleneimine, tea extract, permeate of the culture liquid.

Член-корреспондент В. И. ПОТКИН<sup>1</sup>, А. В. КЛЕЦКОВ<sup>1</sup>, Е. В. ЛИДЕР<sup>2</sup>,  
Л. Г. ЛАВРЕНОВА<sup>2</sup>, Р. М. ЗОЛОТАРЬ<sup>3</sup>

## СИНТЕЗ И СТРУКТУРА КОМПЛЕКСОВ ХЛОРИДА И БРОМИДА МЕДИ(II) С 4,5-ДИХЛОРИЗОТИАЗОЛ-N-(2-ГИДРОКСИЭТИЛ)-3-КАРБОКСАМИДОМ

<sup>1</sup>Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
potkin@ifoch.bas-net.by; avkletskov@gmail.com

<sup>2</sup>Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия  
lisalider@ngs.ru; ludm@niic.nsc.ru

<sup>3</sup>Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
zoloto\_@tut.by

Разработаны методики синтеза комплексов галогенидов меди(II) с 4,5-дихлоризотиазол-N-(2-гидроксиэтил)-3-карбоксамидом (L) состава [CuLHal<sub>2</sub>]<sub>n</sub>, где Hal = Cl, Br. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что лиганд координируется к атомам меди(II) тридентатно атомом азота гетероцикла и двумя экзотическими атомами кислорода, с образованием полимерных цепочек. Комплекс бромиды меди проявил синергический эффект в композициях с инсектицидами Кербер и Витан.

*Ключевые слова:* изотиазол, амид, комплексы галогенидов меди(II), рентгеноструктурный анализ, биологическая активность.

V. I. POTKIN<sup>1</sup>, A. V. KLETSKOV<sup>1</sup>, E. V. LIDER<sup>2</sup>, L. G. LAVRENOVA<sup>2</sup>, R. M. ZOLOTAR<sup>3</sup>

## SYNTHESIS AND STRUCTURE OF COMPLEXES OF COPPER(II) CHLORIDE AND BROMIDE WITH 4,5-DICHLOROISOTHIAZOLE-N-(2-HYDROXYETHYL)-3-CARBOXAMIDE

<sup>1</sup>Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
potkin@ifoch.bas-net.by; avkletskov@gmail.com

<sup>2</sup>Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia  
lidalider@ngs.ru; ludm@niic.nsc.ru

<sup>3</sup>Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
zoloto\_@tut.by

Copper(II) chloride and bromide complexes with 4,5-dichloro-2-isothiazol-N-(2-hydroxyethyl)-3-carboxamide (L) with the compositions  $[CuLHal_2]_n$ , where  $Hal = Cl^-, Br^-$ , are synthesized. The X-ray analysis revealed that the ligand is coordinated to the copper(II) atoms tridentate by the nitrogen atom of the heterocycle and two exocyclic oxygen atoms to form polymer chains. The copper bromide complex showed a synergistic effect in the compositions of insecticides Kerber and Vitan.

*Keywords:* isothiazole, amide, copper(II) halide complexes, X-ray structure analysis, biological activity.

O. S. КУПРИЕНКО, П. С. ШАБУНЯ, С. А. ФАТЫХОВА, О. В. СВИРИДОВ

## СИНТЕЗ И ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С АНТИТЕЛАМИ НОВОГО БИОКОНЬЮГАТА ХЛОРАМФЕНИКОЛ-ДИЭТИЛЕНТРИАМИНТЕТРААЦЕТАТ ЕВРОПИЯ

(Представлено академиком Ф. А. Лахвичем)

Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
olga\_garbuz@iboch.bas-net.by; polinashabunya@nm.by; fsa1981@tut.by; sviridov@iboch.bas-net.by

В реакции *N*-сукцинимидного эфира 3-гемисукцината хлорамфеникола с  $Eu^{3+}$ -комплексонатом *N*<sup>1</sup>-(2-аминоэтил-амида) диэтиленetriaminпентауксусной кислоты и получен конъюгат антибиотика с лантанидохелатом. Определены кинетическая зависимость и равновесные параметры связывания конъюгата с поликлональными антителами к хлорамфениколу, биоспецифически иммобилизованными в лунках микропланшета. Сделан вывод о возможности использования конъюгата для лантанидного иммунофлуориметрического анализа хлорамфеникола.

*Ключевые слова:* хлорамфеникол, европий, поликлональные антитела, лантанидный иммунофлуориметрический анализ.

O. S. KUPRIENKO, P. S. SHABUNYA, S. A. FATYKHAVA, O. V. SVIRIDOV

## SYNTHESIS AND PARAMETERS OF INTERACTION WITH ANTIBODIES OF A NEW BIOCONJUGATE OF CHLORAMPHENICOL WITH EUROPIUM DIETHYLENETRIAMINETETRAACETATE

Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
olga\_garbuz@iboch.bas-net.by; polinashabunya@nm.by; fsa1981@tut.by; sviridov@iboch.bas-net.by

A conjugate has been obtained in the reaction of chloramphenicol 3-hemisuccinate with diethylenetriaminepentaacetic acid *N*<sup>1</sup>-(2-aminoethylamide)  $Eu^{3+}$ -complexonate. Kinetic and equilibrium parameters of conjugate binding to polyclonal anti-chloramphenicol antibodies biospecifically immobilized onto microtiter plate wells were determined. It was concluded that the new bioconjugate can be used in a lanthanide immunofluorometric assay of chloramphenicol.

*Keywords:* chloramphenicol, europium, polyclonal antibodies, time-resolved fluoroimmunoassay.

O. A. ОРЛОВСКАЯ, С. И. ВАКУЛА, С. В. КУБРАК, академик Л. В. ХОТЫЛЕВА,  
член-корреспондент А. В. КИЛЬЧЕВСКИЙ

## ОЦЕНКА ПОЛИМОРФИЗМОВ ГЕНОВ *LcyE* И *CrtRB1*, АССОЦИИРОВАННЫХ С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ ПРОВИТАМИНА А В ЗЕРНЕ КУКУРУЗЫ (*ZEA MAYS L.*), В КОЛЛЕКЦИИ ОБРАЗЦОВ РАЗЛИЧНОГО ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
O.Orlovskaya@jgc.by; s.vacula@jgc.by; S.Kubrak@jgc.by; L.Khotyleva@jgc.by; Kilchev@presidium.bas-net.by

Проведена оценка ключевых полиморфизмов генов *LcyE* и *CrtRB1*, ассоциированных с повышенным уровнем провитамина А в зерне кукурузы (*LcyE* 5'TE, *LcyE* 3'Indel и *CrtRB1* 3'TE), в коллекции из 54 образцов различного эколого-географического происхождения. В изученном материале не выявлено присутствия благоприятных аллелей гена *LcyE*. Выделены генотипы (35 % образцов), несущие благоприятный аллель 1 функционального маркера *CrtRB1* 3'TE, которые представляют интерес для селекционных программ кукурузы, направленных на повышение качества зерна.

*Ключевые слова:* кукуруза, каротиноиды, ДНК маркеры.

O. A. ORLOVSKAYA, S. I. VAKULA, S. V. KUBRAK, L. V. KHOTYLEVA, A. V. KILCHEVSKY

**EVALUATION OF *LcyE* AND *CrtRBI* GENE POLYMORPHISMS ASSOCIATED WITH AN INCREASED CONTENT OF PROVITAMIN A IN MAIZE GRAIN (*ZEA MAYS* L.) IN THE COLLECTION OF SAMPLES OF DIFFERENT ECO-GEOGRAPHICAL ORIGIN**

*Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*  
*O.Orlovskaya@igc.by; s.vacula@igc.by; S.Kubrak@igc.by; L.Khotyleva@igc.by; Kilchev@presidium.bas-net.by*

The collection of 54 maize samples of different eco-geographical origin was evaluated for the key polymorphisms of the *LcyE* and *CrtRBI* genes (*LcyE* 5'TE, *LcyE* 3'Indel and *CrtRBI* 3'TE) associated with the provitamin A content in maize grain. Favorable alleles of *LcyE* were not detected in the studied material. Selected genotypes with favorable allele 1 of *CrtRBI* 3'TE functional marker (35 % of the samples) are of interest for maize breeding programs aimed at improving the grain quality.

*Keywords:* maize, carotenoids, DNA markers.

A. B. АЛЕХНОВИЧ<sup>1</sup>, Э. Х. ГУКАСЯН<sup>2</sup>

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОСТА ДЛИННОПАЛОГО РАКА БЕЛОРУССКОГО оз. СОМИНСКОЕ И АРМЯНСКОГО оз. СЕВАН**

*(Представлено членом-корреспондентом В. П. Семенченко)*

<sup>1</sup>*НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь*  
*alekhnovichav@gmail.com*

<sup>2</sup>*Институт гидроэкологии и ихтиологии Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН Армении, Ереван, Армения*  
*e\_ghukasyan@yahoo.com*

Рост массы тела длиннопалого рака *Astacus leptodactylus* оз. Соминское (Беларусь) и оз. Севан (Армения) описан уравнением Бергаланфи. Для определения скорости роста раков исследуемых озер уравнения роста массы про дифференцированы и определены средние приросты массы за год. Средняя годовая скорость роста для возрастных групп 2–7 лет составляла в популяции оз. Соминское  $12,10 \pm 2,15$  г, в популяции оз. Севан –  $10,23 \pm 2,62$  г. Различия между средними значениями приростов статистически не достоверны.

*Ключевые слова:* длиннопалый рак, рост, Армения, Беларусь.

A. V. ALEKHNOVICH<sup>1</sup>, E. Kh. GHUKASYAN<sup>2</sup>

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE NARROW-CLAWED CRAYFISH GROWTH PATTERNS IN LAKE SOMINSKOE IN BELARUS AND IN LAKE SEVAN IN ARMENIA**

<sup>1</sup>*Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*  
*alekhnovichav@gmail.com*

<sup>2</sup>*Institute of Hydroecology and Ichthyology of Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of Armenia, Yerevan, Armenia*  
*e\_ghukasyan@yahoo.com*

The growth rate of narrow-clawed crayfish in Lake Sominskoe (Belarus) and Lake Sevan (Armenia) is defined as the derivative of the Bertalanffy equation of growth. The average annual growth rate for the age group of 2–7 years was  $12.0 \pm 2.15$  grams in Lake Sominskoe,  $10.23 \pm 2.62$  grams in Lake Sevan. The difference between the average values was not statistically significant.

*Keywords:* narrow clawed crayfish, growth, Belarus, Armenia.

*В. А. КОВТУН<sup>1</sup>, В. Н. ПАСОВЕЦ<sup>2</sup>, член-корреспондент Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ<sup>3</sup>,  
М. МИХОВСКИ<sup>4</sup>, А. И. ХАРЛАМОВ<sup>5</sup>*

## **ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНЫХ НАНОПОЛНЕННЫХ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПОРШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ**

<sup>1</sup>*Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь  
vadimkov@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь  
pasovets\_v@mail.ru*

<sup>3</sup>*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь  
pleskym@mail.ru*

<sup>4</sup>*Институт механики Болгарской академии наук, София, Болгария  
nntdd@abv.bg*

<sup>5</sup>*Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев, Украина  
dep73@ipms.kiev.ua*

Исследованы триботехнические и прочностные характеристики гибридных композиционных материалов на основе порошковых систем «медь–омедненный политетрафторэтилен–наноструктуры углерода». Показано, что введение наноструктур углерода и плакированного металлом политетрафторэтилена (ПТФЭ) в порошковую металлическую матрицу композита при его формировании методом электроконтактного спекания позволяет получить материалы с высокими эксплуатационными характеристиками. По критериям прочности и износостойкости установлено, что оптимальное содержание частиц омедненного ПТФЭ в исследованных композиционных материалах с порошковой медной матрицей составляет 5–6 мас. %, а наноструктурного углеродного наполнителя – 0,06–0,07 мас. %.

*Ключевые слова:* нанонаполненные металлополимерные композиты, триботехнические и механические характеристики.

*V. A. KOVTUN<sup>1</sup>, V. N. PASOVETS<sup>2</sup>, Yu. M. PLESKACHEVSKY<sup>3</sup>, M. MIHOVSKI<sup>4</sup>, A. I. HARLAMOV<sup>5</sup>*

## **TRIBOENGINEERING AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE HYBRID NANOFILLED METAL–POLYMER POWDER COMPOSITES**

<sup>1</sup>*Gomel Engineering Institute of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Gomel, Belarus  
vadimkov@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Institute for Command Engineers of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus  
pasovets\_v@mail.ru*

<sup>3</sup>*V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Gomel, Belarus  
pleskym@mail.ru*

<sup>4</sup>*Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria  
nntdd@abv.bg*

<sup>5</sup>*I. N. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine  
dep73@ipms.kiev.ua*

Triboengineering and strength properties of hybrid composite materials based on copper–copper-plated polytetrafluoroethylene–carbon nanostructure power systems are investigated. It is shown that the introduction of carbon nanostructures and metal-plated polytetrafluoroethylene (PTFE) into a metal powder matrix of composite, when it is formed by the electrocontact sintering method, allows obtaining materials with high-performance characteristics. By the criteria of strength and wear resistance it is established that the optimal content of copper-plated PTFE particles in the investigated composites with powder copper matrix is 5–6 wt. % and of a carbon nanostructured filler – 0.06–0.07 wt. %.

*Keywords:* nanofilled metal-polymer composites, tribological and mechanical characteristics.

*N. E. TRUSEVICH, S. A. NICHIPOROVICH, M. I. KULAK*

## **SIMULATION AND ANALYTICAL MODEL OF PLANNING AND REALIZATION OF THE ADMINISTRATIVE CYCLE IN MODERN ORGANIZATIONAL STRUCTURES**

*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus  
trusevich@belstu.by; nichiporovich@belstu.by; kulak\_mi@tut.by*

The principles of simulation and analytical modeling of an administrative cycle in organizational structures of management with use of the classical analytical strategy are stated. The offered model gives the chance of receiving a quantitative assessment of an optimality of planning and realization of an administrative cycle. A comparative analysis of linear, functional and network structures of management through the optimality criterion of organizational planning has been made.

*Keywords:* imitating and analytical model, administrative cycle, organizational structures of management, analytical strategy.

*Н. Э. ТРУСЕВИЧ, С. А. НИЧИПОРОВИЧ, М. И. КУЛАК*

**ИМИТАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ  
И РЕАЛИЗАЦИИ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО ЦИКЛА  
В СОВРЕМЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУРАХ**

*(Представлено членом-корреспондентом Г. И. Ганушем)*

*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь  
trusevich@belstu.by; nichiporovich@belstu.by; kulak\_mi@tut.by*

Изложены принципиальные вопросы имитационно-аналитического моделирования управленческого цикла в организационных структурах управления с применением аппарата классической аналитической стратегии. Предложенная модель дает возможность получения количественной оценки оптимальности планирования и реализации управленческого цикла. Проведен сравнительный анализ линейных, функциональных и сетевых структур управления по критерию оптимальности организационного планирования.

*Ключевые слова:* имитационно-аналитическая модель, управленческий цикл, организационные структуры управления, аналитическая стратегия.

*Академик В. В. ЛАПА, Н. А. МИХАЙЛОВСКАЯ*

**АКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ГУМИФИКАЦИИ  
В ВЫСОКО ОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ  
ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

*Институт почвоведения и агрохимии, Минск, Беларусь  
brissagro@biz.by; bionf1@yandex.ru*

На основании анализа активности целлюлозолитического и амилолитического микробных сообществ и результатов диагностики по гидролитическим и окислительным ферментам установлены изменения биохимических показателей минерализации и гумификации органических веществ в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при ресурсосберегающих системах удобрения. Показано, что для сохранения плодородия почвы экологически наиболее целесообразно внесение полного минерального удобрения,  $N_{90+30}P_{15}K_{30}$ , что обеспечивает высокую и устойчивую урожайность при сберегающем уровне минерализации органического вещества в циклах углерода и азота.

*Ключевые слова:* дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, гидролитические и окислительные ферменты, минерализация в циклах C и N, гумификация в цикле C.

*V. V. LAPA, N. A. MICHAILOVSKAYA*

**ACTIVITY OF MINERALIZATION AND HUMIFICATION PROCESSES IN HIGH-FERTILITY  
DERNO-PODZOLIC SANDY-LOAM SOIL DEPENDING ON THE FERTILIZER APPLICATION**

*Institute for Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus  
brissagro@biz.by; bionf1@yandex.ru*

The changes of biochemical indices of mineralization and humification of organic substances in high-fertility derno-podzolic sandy-loam soil depending on the application of different fertilizer systems were established using the data on the activity of cellulolytic and amylolytic microbial communities, as well as the results of enzymatic soil diagnostics (hydrolytic and oxidative enzymes). The application of  $N_{90+30}P_{15}K_{30}$  was shown to provide high and sustainable crop yields under a moderate level of organic substances mineralization in C and N-circles.

*Keywords:* derno-podzolic loamy soil hydrolytic and oxidative enzymes, mineralization in the C and N cycles, humification in the cycle C.