



МАТЕРИАЛЫ VIII МЕЖДУНАРОДНОЙ ЗАОЧНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ  
И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ  
В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

Новосибирск, 2013 г.

УДК 50  
ББК 20  
Е86

**Е86 «Естественные и математические науки в современном мире»:** материалы VIII международной заочной научно-практической конференции. (22 июля 2013 г.) — Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. — 170 с.

ISBN 978-5-4379-0314-8

Сборник трудов VIII международной заочной научно-практической конференции «Естественные и математические науки в современном мире»: отражает результаты научных исследований, проведенных представителями различных школ и направлений современных естественных наук.

Данное издание будет полезно аспирантам, студентам, исследователям и всем интересующимся актуальным состоянием и тенденциями развития естественных наук.

Рецензенты:

- канд. техн. наук Ахмеднабиев Расул Магомедович;
- д-р техн. наук Ахметов Сайранбек Махсутович;
- канд. техн. наук Елисеев Дмитрий Викторович;
- канд. физ.-мат. наук Зеленская Татьяна Евгеньевна;
- д-р хим. наук, профессор Козьминых Владислав Олегович;
- канд. техн. наук Романова Алла Александровна;
- канд. физ.-мат. наук Рымкевич Павел Павлович;
- канд. хим. наук Сүлейменов Ерлан Мэлсұлы;
- канд. биол. наук Харченко Виктория Евгеньевна;
- канд. с.-хоз. наук Яковишина Татьяна Федоровна.

ISBN 978-5-4379-0314-8

ББК 20

© НП «СибАК», 2013 г.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Математика</b>	<b>7</b>
<b>1.1. Вещественный, комплексный и функциональный анализ</b>	<b>7</b>
КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ГАЗЕМАНА В ДРОБНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ БЕСОВА Альсейтов Амангельды Гумарович	7
<b>1.2. Математическая логика, алгебра и теория чисел</b>	<b>25</b>
УДИВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРВОЙ ЧЕТВЕРКИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ Малаховский Владислав Степанович	25
<b>Секция 2. Информационные технологии</b>	<b>29</b>
<b>2.1. Системный анализ, управление и обработка информации</b>	<b>29</b>
ОБОСНОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, РАБОТАЮЩИХ НА ПОНИЖЕННЫХ ЧАСТОТАХ Чипига Александр Федорович Киселев Данил Павлович Меденец Виктор Владимирович Песков Марк Владимирович	29
<b>2.2. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами</b>	<b>35</b>
УПРАВЛЕНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ Калякина Инесса Македоновна Номерчук Александр Яковлевич	35
УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ ПЕРЕНОСНОГО СТАНОЧНОГО МОДУЛЯ Погонин Денис Анатольевич	40

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА В ЦИЛИНДРЕ ЭКСТРУДЕРА ПРИ ПОМОЩИ СРЕДЫ VISSIM Грызов Владимир Константинович Фролин Дмитрий Викторович	47
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ И ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, ИМЕЮЩИХ СЛОЖНУЮ ФОРМУ ПОВЕРХНОСТИ Четвериков Борис Сергеевич	55
<b>2.3. Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети</b>	<b>60</b>
АЛГОРИТМ РЕКОНФИГУРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВРЕМЕНИ Клименко Анна Борисовна Мельник Эдуард Всеволодович	60
<b>Секция 3. Физика</b>	<b>72</b>
<b>3.1. Оптика</b>	<b>72</b>
ФОРМИРОВАНИЕ ОТКЛИКОВ СТИМУЛИРОВАННОГО ФОТОННОГО ЭХА В ТРЕХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ ПРИ КОДИРОВКЕ ИНФОРМАЦИИ ВО ВРЕМЕННОЙ ФОРМЕ ОБЪЕКТНОГО ИМПУЛЬСА Нефедьев Леонид Анатольевич Гарнаева Гузель Ильдаровна Хакимзянова Эльза Ильдаровна	72
<b>Секция 4. Биология</b>	<b>84</b>
<b>4.1. Биологические аспекты сельского хозяйства</b>	<b>84</b>
ФИТОРЕГУЛЯТОРЫ КАК ОСНОВА ЭКОЛОГИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА Уромова Ирина Павловна Штырлина Ольга Вениаминовна Штырлин Дмитрий Александрович	84

<b>4.2. Экология и природопользование</b>	<b>89</b>
РАСТЕНИЯ И ДЕФИЦИТ ВЛАГИ В ПОЧВЕ	89
Любимов Валерий Борисович	
Котова Наталья Петровна	
ОЦЕНКА ДИФфуЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ	94
Пициль Андрей Орестович	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ЕГО ИНДЕКСУ ТОКСИЧНОСТИ	101
Русинова Наталия Владимировна	
Сидуков Алексей Васильевич	
СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОДНОЛЕТНИКА SETARIA GLAUCA	106
Сафаргалина Алсу Тагировна	
ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИИ ЖИЗНИ ОДНОЛЕТНИКА SETARIA GLAUCA	111
Сафаргалина Алсу Тагировна	
ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДЕТОКСИКАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ	116
Яковишина Татьяна Федоровна	
<b>Секция 5. Химия</b>	<b>120</b>
<b>5.1. Биоорганическая химия</b>	<b>120</b>
АРЕТХ2-ПОДОБНЫЕ ТОКСИНЫ	120
АКТИНИИ HETERACTIS CRISPA	
Калина Римма Сергеевна	
Гладких Ирина Николаевна	
Кошелев Сергей Геннадьевич	
Монастырная Маргарита Михайловна	
Козловская Эмма Павловна	
<b>5.2. Неорганическая химия</b>	<b>127</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭМУЛЬСИИ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДОВ КАДМИЯ, РТУТИ И СВИНЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ СТАБИЛИЗАТОРА	127
Фарус Оксана Анатольевна	

<b>5.3. Физическая химия</b>	<b>133</b>
ИОННАЯ ФЛОТАЦИЯ — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ Джевага Наталья Владимировна Лобачева Ольга Леонидовна	133
РН ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В РАСТВОРАХ Y(III), CE(III), SM(III) Лобачева Ольга Леонидовна Джевага Наталья Владимировна	138
К ВОПРОСУ О ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АЦЕТАТОВ КАЛИЯ, РУБИДИЯ И ЦЕЗИЯ Надиров Ермурат Галымбекович Иманбекова Тохтабуби Джумадиловна Мустафаева Назира Маматкуловна	143
ИНФРАКРАСНЫЕ СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ АЦЕТАТОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ГРУПП ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ПРОДУКТОВ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Надиров Ермурат Галымбекович Мустафаева Назира Маматкуловна Иманбекова Тохтабуби Джумадиловна	153
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ Хентов Виктор Яковлевич Сёмченко Владимир Владимирович Хуссейн Ханаа Хассан	163

## СЕКЦИЯ 1.

### МАТЕМАТИКА

#### 1.1. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ, КОМПЛЕКСНЫЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

##### КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ГАЗЕМАНА В ДРОБНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ БЕСОВА

*Альсейтов Амангельды Гумарович*  
*учитель математики, гимназия «Умит»,*  
*г. Уральск, Казахстан*  
*E-mail: [alseyytov@rambler.ru](mailto:alseyytov@rambler.ru)*

##### HASEMAN BOUNDARU VALUE PROBLEM IN BESSOV'S FRACTIONAL SPACES

*Alseitov Amangeldy*  
*teacher of mathematics, gymnasium «Umit»,*  
*Uralsk city, Kazakhstan*

#### АННОТАЦИЯ

Настоящая работа посвящена исследованию краевой задачи Газемана в дробных пространствах Бесова. Решение поставленной задачи явно выражено через интеграл типа Коши. Доказана полная непрерывность одного интегрального оператора в дробных пространствах Бесова.

#### ABSTRACT

This work is devoted to the research of Haseman boundary value problem in Bessov's fractional spaces. Solution of given task is clearly expressed through Cauchy-type integral. It was completely proven continuity of a certain integral operator in Bessov's fractional spaces.

**Ключевые слова:** краевая задача со сдвигом; сингулярное интегральное уравнение; интеграл типа Коши; вполне непрерывный оператор; краевая задача Газемана; дробное пространство.

**Keywords:** boundary value problem with shift; singular integral equation; Cauchy-type integral; completely continuous operator; Haseman boundary value problem; fractional space.

Применение дробных пространств к изучению разрешимости краевых задач началось в начале 50-х годов прошлого столетия.

В настоящей работе изучается одна краевая задача со сдвигом в дробных пространствах Бесова, а именно задача Газемана. Краевыми задачами со сдвигами называются задачи, краевые условия которых представляют собой линейные соотношения между предельными значениями искомого аналитического функций, вычисленными в различных точках границы. С такими краевыми задачами тесно связаны сингулярные уравнения, линии особенностей которых задаются гомеоморфными отображениями контура интегрирования на себя.

Впервые краевую задачу со сдвигом предложил рассматривать С. Газеман в работе [13], опубликованной в 1907 г. Поставленная им задача обобщала задачу Римана [6, с. 106] в том смысле, что предельное значение внутренней компоненты искомого кусочно-аналитической функции вычислялось в точке  $\alpha(t)$ , полученной из  $t$  сохраняющим ориентацию гомеоморфизмом простого замкнутого гладкого контура  $\Gamma$  на себя. В 1932 г. в докладе [14], прочитанном II Международному математическому съезду, Т. Карлеман поставил носящую ныне его имя краевую задачу об отыскании аналитической внутри  $\Gamma$  функции по условию линейного сопряжения её граничных значений в точках  $t$  и  $\alpha(t)$ , где  $\alpha(t)$  — изменяющий ориентацию на  $\Gamma$  гомеоморфизм, удовлетворяющий условию  $\alpha[\alpha(t)] = t$ .

Дальнейшее развитие теории обеспечивалось исключительно трудами математиков бывшего СССР. Прежде всего, следует отметить основополагающие работы Д.А. Квеселава [7—10], опубликованные в 1946—1948 гг. Используя метод интегральных уравнений, Д.А. Квеселава дал для случая односвязной области полное решение задач Газемана и Карлемана для ограниченной односвязной области и ещё двух аналогичных задач.

К настоящему времени исследование основных краевых задач со сдвигом в классической постановке приняло почти законченный вид. Но до сих пор остается открытым вопрос, поставленный Ф.Д. Гаховым: с какого максимально широкого класса можно взять

коэффициенты задачи, чтобы решение задачи Римана оставалось в классе непрерывных функций [6, с. 146].

Эллиптические системы дифференциальных уравнений первого порядка на плоскости и краевые задачи, а также основы общей теории обобщенных аналитических функций в дробных пространствах Никольского-Бесова изучены Н.К. Блиевым, и основные результаты исследований изложены в монографиях [5], [12]. Полученные Н.К. Блиевым результаты вполне применимы к изучению в дробных пространствах Бесова  $B_{p,\theta}^{1+\alpha}$  многих краевых задач теории функций.

Некоторые результаты в этом направлении получены И.А. Абитбековым [1], [2]. Изучение дифференциальных уравнений и краевых задач к ним в дробных пространствах без предположения достаточной гладкости коэффициентов начато, по-видимому, в работах Н.К. Блиева.

Рассмотрим следующий интегральный оператор:

$$Kf = \int_{\Gamma} \left[ \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \right] f(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где:  $\Gamma$  — простой замкнутый контур класса Ляпунова  $C_{\nu}^1$ ,  $1 < p < 2$ ,

$\frac{2}{p} - 1 < \nu \leq 1$ , ограничивающий конечную область точек  $z = x + iy$

комплексной плоскости, а  $\alpha(t)$  обозначает некоторую непрерывную функцию, заданную на  $\Gamma$  и переводящую взаимно однозначно контур  $\Gamma$  в самого себя с сохранением направления. Будем считать, что функция сдвига  $\alpha(t)$  имеет производную  $\alpha'(t) = \frac{d\alpha(t)}{dt}$  отличную от нуля

всюду на  $\Gamma$  и принадлежащую классу Бесова  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ .

Известно, что если  $\alpha'(t)$  из класса Гельдера, то оператор  $K$  вполне непрерывен [6], [11]. Это тем более верно, когда  $\alpha'(t)$  из класса бесконечно дифференцируемых в  $\Gamma$  функций. Ниже рассмотрим

оператор  $K$  в пространствах  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ .

Рассмотрим ядро оператора (1)

$$k(t, \tau) = \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \quad (2)$$

и оценим её.

Совершив над ядром  $k(t, \tau)$  преобразование и учитывая очевидные равенства

$$\alpha(t) - \alpha(\tau) = \int_{\tau}^t \alpha'(u) du,$$

$$\alpha'(\tau)(t - \tau) = \int_{\tau}^t \alpha'(\tau) du.$$

Получим

$$k(t, \tau) = \frac{\int_{\tau}^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du}{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \cdot (\tau - t)}. \quad (3)$$

По условию задачи существует производная  $\frac{1}{p}$   $\alpha'(t) \in B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ . Как известно,  $B_{p,1}^p(\Gamma) \subset C(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  [3], т.е. функция  $\alpha'(t)$  является непрерывной на  $\Gamma$ . Применяя формулу Лагранжа о конечных приращениях, имеем

$$|\alpha(\tau) - \alpha(t)| = |\alpha'(t_1)| \cdot |\tau - t| \geq m \cdot |\tau - t|, \quad (4)$$

где:  $t_1 \in (\tau, t)$  и  $m = \min |\alpha'(t)|$  на контуре  $\Gamma$ . Заметим, что  $m \neq 0$ . Действительно, по условию  $\alpha'(t)$  непрерывная и нигде  $\alpha'(t) \neq 0$  на  $\Gamma$ , поэтому можно подобрать такое число  $\delta > 0$ , что  $|\alpha'(t)| \geq \delta$ . Отсюда в свою очередь следует, что  $m = \min |\alpha'(t)| \geq \delta > 0$ .

Оценим числитель правой части (3)

$$\begin{aligned} \left| \int_{\tau}^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du \right| &\leq \int_{\tau}^t |\alpha'(\tau) - \alpha'(u)| du = \int_{\tau}^t |\alpha'(u + (\tau - u)) - \alpha'(u)| du \leq \\ &\leq C \int_{\tau}^t |\alpha'(u + (\tau - t)) - \alpha'(u)| du, \end{aligned}$$

где:  $C > 0$  — независимая постоянная.

Далее, обозначив,  $|\tau - t| = h$  будем иметь

$$\begin{aligned} \left| \int_{\tau}^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du \right| &\leq C \int_{\tau}^t |\alpha'(u + h) - \alpha'(u)| du \leq C \left( \int_{\Gamma} |\Delta_h \alpha'(u)|^p du \right)^{\frac{1}{p}} \times \\ &\times |\tau - t|^{\frac{1}{q}} = C \|\Delta_h \alpha'(u)\|_{L_p(\Gamma)} \cdot |\tau - t|^{\frac{1}{q}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для получения второго неравенства в (5) использовалось неравенство Гельдера. Отметим, что оценку (5) можно было бы получить, рассматривая, так называемую стандартную дугу контура  $\Gamma$  [11, с. 16].

Объединив (4) и (5) получим оценку ядра

$$\begin{aligned} |k(t, \tau)| &= \frac{\left| \int_{\tau}^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du \right|}{|\alpha(\tau) - \alpha(t)| \cdot |\tau - t|} \leq C \frac{\|\Delta_h \alpha'(u)\|_{L_p(\Gamma)} \cdot |\tau - t|^{\frac{1}{q}}}{m \cdot |\tau - t|^2} = \\ &= C_1 \frac{\|\Delta_h \alpha'(u)\|_{L_p(\Gamma)}}{h^{\frac{1}{p}}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где:  $C_1 = \frac{C}{m}$ , а  $m > 0$  как и выше минимум функции  $|\alpha'(t)|$  на контуре  $\Gamma$ .

Теперь нетрудно показать ограниченность оператора

$$Kf = \int_{\Gamma} \left[ \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \right] f(\tau) d\tau, \quad (1)$$

точнее, верна следующая лемма.

Лемма 1. В пространстве  $B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  справедлива следующая оценка нормы оператора  $K$ :

$$\|K\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} \leq C_2 \|\alpha'(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}}, \quad (7)$$

где:  $C_2 > 0$  — независимая постоянная.

Доказательство. Используя оценку (6) имеем

$$\begin{aligned} \|Kf\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} &= \left\| \int_{\Gamma} \left[ \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \right] f(\tau) d\tau \right\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} \leq \\ &\leq \max_{t \in \Gamma} |f(t)| \cdot \left\| \int_{\Gamma} \left[ \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \right] d\tau \right\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} \leq \\ &\leq C_2 \cdot \|f\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} \cdot \|\alpha'(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} \leq C_2 \cdot \|f\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} \cdot \|\alpha'(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}} \end{aligned}$$

где:  $\|\cdot\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{p}}$  — полунорма в пространстве  $B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  [5, с. 16]. Отсюда следует справедливость оценки (7).

Теперь перейдем к доказательству основной леммы.

Лемма 2 (основная лемма). Пусть  $1 < p < 2$ ,  $\Gamma \in C_\nu^1$ ,  $\frac{2}{p} - 1 < \nu \leq 1$ . Тогда оператор  $K$  вполне

непрерывен в пространствах  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ .

Доказательство. Множество бесконечно дифференцируемых на контуре  $\Gamma$  функций  $C^\infty(\Gamma)$  плотно в пространствах  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$  [4]. В силу этого существует такая последовательность функций  $\{\alpha_n'(t)\}_{n \geq 1}$  из пространства  $C^\infty(\Gamma)$ , что

$$\left\| \alpha'(t) - \alpha_n'(t) \right\|_{B_{p,1}^{\frac{1}{p}}} \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty. \quad (8)$$

Очевидно, что при каждом  $n$  оператор

$$K_n f = \int_{\Gamma} \left[ \frac{\alpha_n'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \right] f(\tau) d\tau \quad (9)$$

есть вполне непрерывный оператор, переводящий  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$  в себя.

Поступая так же, как и выше приведем ядро

$$k_n(t, \tau) = \frac{\alpha_n'(\tau)}{\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)} - \frac{1}{\tau - t} \quad (10)$$

оператора  $K_n$  к виду (3)

$$k_n(t, \tau) = \frac{\int_0^t [\alpha'_n(u) - \alpha'_n(\tau)] du}{[\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \cdot (\tau - t)} \quad (11)$$

и рассмотрим разность ядер (2) и (10)

$$\begin{aligned} k(t, \tau) - k_n(t, \tau) &= \frac{\int_0^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du}{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \cdot (\tau - t)} \\ &\quad - \frac{\int_0^t [\alpha'_n(u) - \alpha'_n(\tau)] du}{[\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \cdot (\tau - t)} = \\ &= \frac{[\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \int_0^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du - [\alpha(\tau) - \alpha(t)] \int_0^t [\alpha'_n(u) - \alpha'_n(\tau)] du}{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \cdot [\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \cdot (\tau - t)} = \\ &= \frac{\{ [\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] - [\alpha(\tau) - \alpha(t)] \} \int_0^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du}{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \cdot [\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \cdot (\tau - t)} + \\ &\quad + \frac{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \int_0^t [\alpha'(u) - \alpha'_n(u) + \alpha'_n(\tau) - \alpha'(\tau)] du}{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \cdot [\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \cdot (\tau - t)} = \\ &= \frac{\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t) - [\alpha(\tau) - \alpha(t)]}{\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)} \cdot \frac{\int_0^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du}{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \cdot (\tau - t)} + \end{aligned}$$

$$+ \frac{\int_{\tau}^t \{ [\alpha'(u) - \alpha'_n(u)] - [\alpha'(\tau) - \alpha'_n(\tau)] \} du}{[\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \cdot (\tau - t)}. \quad (12)$$

В силу того, что  $\alpha(t)$  и  $\alpha_n(t)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , непрерывно дифференцируемые функции, применяя теорему о конечных приращениях, имеем оценку

$$\begin{aligned} \left| \frac{\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t) - [\alpha(\tau) - \alpha(t)]}{\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)} \right| &= \left| \frac{\alpha'_n(t_1)(\tau - t) - \alpha'(t_2)(\tau - t)}{\alpha'_n(t_1)(\tau - t)} \right| \leq \\ &\leq \frac{1}{m} \left| \alpha'_n(t_1) - \alpha'(t_2) \right| \leq M_1 \cdot \max_{t \in \Gamma} \left| \alpha'_n(t) - \alpha'(t) \right|, \end{aligned} \quad (13)$$

где:  $t_1, t_2 \in (\tau, t)$ ,  $m = \inf_n \min_{t \in \Gamma} |\alpha'_n(t)|$ ,  $M_1$  — положительная постоянная. В силу  $\alpha'(t) \neq 0$  на  $\Gamma$  и  $\alpha'_n(t) \rightarrow \alpha'(t)$  при  $n \rightarrow \infty$  можем считать, что, начиная с некоторого номера все  $\alpha'_n(t) \neq 0$ .

Выше (лемма 1) было доказано нами, что оператор  $K$  ограничен в  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ . В силу этого и формул (7)—(13) будем иметь

$$\begin{aligned} \|Kf - K_n f\|_{B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)} &= \|(K - K_n)f\|_{B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)} = \|f\|_{B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)} \times \\ &\times \left( M_1 \cdot \max_{t \in \Gamma} |\alpha'_n(t) - \alpha'(t)| \left\| \int_{\Gamma} \frac{\int_{\tau}^t [\alpha'(u) - \alpha'(\tau)] du}{[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \cdot (\tau - t)} d\tau \right\|_{B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)} \right) \end{aligned}$$

+

$$\begin{aligned}
& + \\
& \left\| \left\| \int_{\Gamma} \frac{\int_{\tau}^t \{ [\alpha'(u) - \alpha'_n(u)] - [\alpha'(\tau) - \alpha'_n(\tau)] \} du}{[\alpha_n(\tau) - \alpha_n(t)] \cdot (\tau - t)} d\tau \right\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)} \right\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} \\
& \leq \|f\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} \cdot \left( M_1 \cdot M_2 \cdot \|\alpha'_n(t) - \alpha'(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{1}{m} \|\alpha'(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} + \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{m_n} \|\alpha'(t) - \alpha'_n(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} \right) \leq \\
& M \|\alpha'_n(t) - \alpha'(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} \|f\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} \left( \|\alpha'(t)\|_{B_{p,1}^p(\Gamma)}^{\frac{1}{m}} + 1 \right),
\end{aligned}$$

где:  $m_n = \min_{t \in \Gamma} |\alpha'(t)|$  и как отмечено выше все  $m_n \neq 0$  на  $\Gamma$ .

Откуда в силу (8) следует, что

$$\|K - K_n\|_{B_{p,1}^p}^{\frac{1}{m}} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty.$$

Следовательно, оператор  $K$  вполне непрерывен в пространстве  $B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  как равномерный предел вполне непрерывных операторов  $K_n$  по норме этого пространства. Основная лемма доказана.

Перейдем теперь к основному вопросу нашей работы, к следующей задаче линейного сопряжения со сдвигом, называемой также краевой задачей Газемана.

Дан замкнутый простой контур класса Ляпунова  $\Gamma \in C_{\nu}^1$ ,  $0 < \nu < 1$ , делящий комплексную плоскость на две части: внутреннюю

область  $D^+$ , содержащую начало координат и внешнюю область  $D^-$ , содержащую бесконечно удаленную точку. Положительным направлением на контуре  $\Gamma$  будем считать то направление, которое область  $D^+$  оставляет слева. На контуре  $\Gamma$  заданы функции  $G(t)$  и  $g(t)$  из класса Бесова  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , причем,  $G(t)$  не обращается в нуль нигде на  $\Gamma$ . Считаем, что  $V$  удовлетворяет условию  $\frac{2}{p} - 1 < \nu \leq 1$ . Пусть функция  $\alpha(t)$ , заданная на контуре  $\Gamma$

и имеющая отличную от нуля производную  $\alpha'(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , взаимно однозначно отображает контур  $\Gamma$  на себя с сохранением направления.  $\alpha(t)$  будем называть функцией сдвига. Через  $\beta(t)$  обозначим функцию, обратную  $\alpha(t)$ . Легко убедиться, что свойства  $\beta(t)$  такие же, как и у функции  $\alpha(t)$ .

Постановка задачи:

Найти кусочно-аналитическую функцию  $\Phi(z)$ , имеющую конечный порядок на бесконечности, удовлетворяющую на  $\Gamma$  краевому условию

$$\Phi^+[\alpha(t)] = G(t)\Phi^-(t) + g(t). \quad (14)$$

$\Phi^+(t)$  и  $\Phi^-(t)$  обозначают пределы  $\Phi(z)$ , когда  $z$  стремится к точке  $t \in \Gamma$ , соответственно, из  $D^+$  и  $D^-$ .

Эта задача представляет естественное обобщение краевой задачи Римана в дробных пространствах Бесова, рассмотренной И.А. Абитбековым [1], которая соответствует случаю  $\alpha(t) = t$ .

Законченное решение задачи в классическом случае впервые было дано Д.А. Квеселава [7]. Позже Ф.Д. Гахов решил ее несколько иным путем, комбинируя для решения задачи метод интегральных уравнений с методом конформного склеивания [6]. Мы будем следовать методу интегральных уравнений, предложенному Д.А. Квеселава [7].

В настоящей работе рассмотрим задачу Газемана с коэффициентом  $G(t)$  и свободным членом  $g(t)$ , принадлежащими к классу непрерывных функций из пространства Бесова  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma) \subset \rightarrow C(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , но  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma) \not\subset \rightarrow H_{\beta}(\Gamma)$  при любом  $0 < \beta < 1$ , т. е. в нашем случае  $G(t)$  и  $g(t)$  являются непрерывными на  $\Gamma$ , но не являются непрерывными по Гельдеру. Производная функции сдвига  $\alpha'(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ . Как увидим ниже, крайевые значения  $\Phi^+(t)$  и  $\Phi^-(t)$  искомой кусочно-аналитической функций являются непрерывными (не гильдеровыми) функциями на  $\Gamma$ .

Имеет место следующая лемма [7].

Лемма 3. Если кусочно-аналитическая функция  $\Phi(z)$ , ограниченная на бесконечности, удовлетворяет на  $\Gamma$  краевому условию

$$\Phi^+[\alpha(t)] = \Phi^-(t),$$

то  $\Phi(z)$  тождественно равна постоянному.

Если  $\Phi^-(\infty) = 0$ , то решением задачи, как легко видеть, будет функция тождественно равная нулю.

Пусть  $G(t) \equiv 1$ . В этом случае краевое условие (14) примет вид

$$\Phi^+[\alpha(t)] - \Phi^-(t) = g(t). \quad (15)$$

Будем искать решение этой задачи в виде

$$\begin{aligned} \Phi^+(z) &= \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\beta(\tau)]}{\tau - z} d\tau, \\ \Phi^-(z) &= \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau + P_n(z), \end{aligned} \quad (16)$$

где  $\varphi(t)$  — искомая функция точек контура  $\Gamma$ , принадлежащая  $B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ ,  $P_n(z) = c_0 + c_1 z + \dots + c_n z^n$  — произвольный полином.

В силу леммы [5, с. 59],  $\varphi[\beta(t)] \in B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ . Любой полином  $P_n(z)$  есть функция класса  $B_{p,1}^p(E)$ ,  $1 < p < 2$ ,  $E = D^+ \cup \Gamma \cup D^-$ . Отсюда и из леммы [5, с. 61], следует, что  $\Phi^\pm(z) \in B_{p,1}^p(D) \hookrightarrow C(\bar{D})$ , а краевые значения  $\Phi^+(t)$  и  $\Phi^-(t)$  принадлежат пространству  $B_{p,1}^p(\Gamma) \hookrightarrow C(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ .

Из формул (16), пользуясь формулами Сохоцкого, справедливость которых в классах Бесова доказана Н.К. Блиевым [5, с. 64], получим

$$\begin{aligned}\Phi^+[\alpha(t)] &= \frac{1}{2}\varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)\varphi(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau, \\ \Phi^-(t) &= -\frac{1}{2}\varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - t} d\tau + P_n(t).\end{aligned}$$

Подставляя эти выражения в краевое условие (15), имеем:

$$K\varphi \equiv \varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int \left[ \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \right] \varphi(\tau) d\tau = g(t) + P_n(t). \quad (17)$$

По основной лемме это интегральное уравнение Фредгольма. На основании леммы 3 однородное уравнение  $K\varphi = 0$  не имеет (нетривиального) решения. Следовательно, неоднородное уравнение (17) разрешимо для любой правой части. Любой полином  $P_n(t)$  есть

функция класса  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ . Нетрудно доказать, что для  $P_n(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$  и  $g(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , решение уравнения (17) также будет из этого класса. Согласно следствия 1.4.2 [5, с. 62], особый интеграл с ядром Коши переводит функции класса  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  в себя. Это тем более справедливо для интеграла с более слабой особенностью. Любому решению уравнения (17) формула (16) приводит в соответствие кусочно-аналитическую функцию  $\Phi(z)$ , являющуюся некоторым решением задачи сопряжения (15).

Пользуясь леммой 3, получим:

**Теорема 1.** Любое кусочно-аналитическое решение задачи сопряжения (16), имеющее конечный порядок на бесконечности, дается формулами (16), где  $P_n(z)$  — произвольный полином, а  $\varphi(t)$  — решение интегрального уравнения (17).

Легко заметить, что задача сопряжения (15) имеет единственное решение, исчезающее на бесконечности. Это решение дается формулой (16), где нужно положить  $P_n(z) = 0$ , а под  $\varphi(t)$  подразумевается решение уравнения (17) при  $P_n(t) = 0$ .

Рассмотрим теперь задачу сопряжения с однородным краевым условием

$$\Phi^+[\alpha(t)] = G(t)\Phi^-(t). \quad (18)$$

Число  $\chi$ , определяемое формулой

$$\chi = \frac{1}{2\pi i} [\ln G(t)]_{\Gamma} = \frac{1}{2\pi} [\arg G(t)]_{\Gamma},$$

где символ  $[ ]_{\Gamma}$  обозначает приращение выражения, заключенного в скобки, при обходе контура  $\Gamma$  один раз в положительном направлении, назовем как обычно, индексом заданной на  $\Gamma$  функции  $G(t)$ , или индексом задачи сопряжения.

Предполагая, что точка  $z=0$  расположена в области  $D^+$ , рассмотрим функцию

$$G_0(t) = t^\chi \cdot G(t),$$

где  $\chi$  индекс функции  $G(t)$ . Очевидно, что индекс функции  $G_0(t)$  равен нулю, поэтому под  $\ln G_0(t)$  на контуре  $\Gamma$  будем понимать одну определенную произвольно выбранную ветвь, непрерывно  $\frac{1}{\Gamma}$  меняющуюся на  $\Gamma$ . Функция  $\ln G_0(t)$  принадлежит классу  $B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  [1].

Функция, определяемая формулами

$$X^+(z) = e^{\Gamma^+(z)}, \quad X^-(z) = z^{-\chi} \cdot e^{\Gamma^-(z)}, \quad (19)$$

$$\Gamma^+(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{h[\beta(\tau)]}{\tau - z} d\tau, \quad \Gamma^-(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{h(\tau)}{\tau - z} d\tau, \quad (20)$$

где:  $h(t)$  — решение уравнения  $Kh = \ln G_0(t)$ , является некоторым (частным) решением однородной задачи сопряжения (18). Действительно, из формул (20), пользуясь формулами Сохоцкого, получим

$$\Gamma^+[\alpha(t)] = \frac{1}{2} h(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{h(\tau) \cdot \alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau,$$

$$\Gamma^-(t) = -\frac{1}{2} h(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{h(\tau)}{\tau - t} d\tau.$$

Подставляя эти выражения в (19), имеем

$$X^+[\alpha(t)] = e^{\frac{1}{2} h(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{h(\tau) \cdot \alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau}, \quad (21)$$

$$X^{-}(t) = t^{-\chi} \cdot e^{-\frac{1}{2}h(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{h(\tau)}{\tau - t} d\tau}.$$

Рассмотрим, далее, задачу сопряжения

$$X^{+}[\alpha(t)] = G(t) \cdot X^{-}(t). \quad (22)$$

Запишем ее в виде

$$X^{+}[\alpha(t)] = t^{\chi} \cdot t^{-\chi} \cdot G(t) \cdot X^{-}(t). \quad (23)$$

Функция  $t^{-\chi} \cdot G(t) = G_0(t)$  имеет нулевой индекс. Логарифмируя (23), получим

$$\ln X^{+}[\alpha(t)] - \ln[t^{\chi} \cdot X^{-}(t)] = \ln[t^{-\chi} \cdot G(t)].$$

Учитывая (21), будем иметь

$$Kh \equiv h(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \left[ \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} - \frac{1}{\tau - t} \right] h(\tau) d\tau = \ln G_0(t) \quad (24)$$

Определив отсюда  $h(t)$ , затем по формулам (19) и (20) найдем  $X^{\pm}(z)$ . Из самого хода рассуждения видно, что найденная функция  $X^{\pm}(z)$  является решением задачи сопряжения (22). Эта функция  $X(z)$ , называемая каноническим решением однородной задачи (18), как видно из (19), нигде на конечном расстоянии в нуль не обращается. Порядок канонического решения на бесконечности равен  $(-\chi)$ .

Перепишав краевое условие (18) в виде

$$\frac{\Phi^{+}[\alpha(t)]}{X^{+}[\alpha(t)]} = \frac{\Phi^{-}(t)}{X^{-}(t)}$$

и используя теорему 1, получим:

Теорема 2. Любое кусочно-аналитическое решение однородной задачи сопряжения (18), имеющее конечный порядок на бесконечности, дается формулами

$$\Phi^+(z) = \frac{X^+(z)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\rho[\beta(\tau)]}{\tau - z} d\tau,$$

$$\Phi^-(z) = \frac{X^-(z)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\rho(\tau)}{\tau - z} d\tau + X^-(z) \cdot P_n(z),$$

где:  $P_n(z)$  — произвольный полином,

$X(z)$  — каноническое решение задачи (18) и

$\rho(t)$  — решение интегрального уравнения  $K\rho = P_n(t)$ .

Если  $\chi \leq 0$ , то однородная задача сопряжения (18) не имеет (нетривиального) решения, исчезающего на бесконечности; если  $\chi > 0$ , то она имеет ровно  $\chi$  линейно независимых решений, исчезающих на бесконечности.

Перейдем теперь к неоднородной задаче (14). Пусть  $X(z)$  — каноническое решение однородной задачи, получаемой из (14) при  $g(t) \equiv 0$ . Тогда краевое условие (14) можно записать в виде

$$\frac{\Phi^+[\alpha(t)]}{X^+[\alpha(t)]} - \frac{\Phi^-(t)}{X^-(t)} = \frac{g(t)}{X^+[\alpha(t)]},$$

и на основании теоремы 1 получается

Теорема 3. Любое кусочно-аналитическое решение неоднородной задачи сопряжения (14), имеющее конечный порядок на бесконечности, дается формулами

$$\Phi^+(z) = \frac{X^+(z)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\beta(\tau)]}{\tau - z} d\tau,$$

$$\Phi^-(z) = \frac{X^-(z)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau + X^-(z) \cdot P_n(z),$$

где:  $P_n(z)$  — произвольный полином,

$X^\pm(z)$  — каноническое решение соответствующей однородной задачи и

$$\varphi(t) \text{ — решение интегрального уравнения } Kh = P_n(t) + \frac{g(t)}{X^+[\alpha(t)]}.$$

### Список литературы:

1. Абитбеков И.А. О задаче линейного сопряжения для многосвязной области в дробных пространствах // Функциональный анализ, дифференциальные уравнения и их приложения // Сб. научн. тр. — Алматы, — 1982. — С. 3—9.
2. Абитбеков И.А., Блиев Н.К. О разрешимости обобщенной задачи Римана-Гильберта для многосвязной области в дробных пространствах // Изв. АН Каз ССР. — Сер. физ. -мат. — 1983. № 1. — С. 1—4.
3. Бесов О.В. Об условиях существования классического решения волнового уравнения // Сиб. матем. журн. — 1967. — Т. 8. № 2. — С. 243—256.
4. Бесов О.В., Ильин В.П., Никольский С.М. Интегральные представления функций и теоремы вложения. М.: Наука, 1975. — 480 с.
5. Блиев Н.К. Обобщенные аналитические функции в дробных пространствах. Алма-Ата: Наука, 1985. — 160 с.
6. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. — М.: Наука, 1977. — 640 с.
7. Квеселав Д.А. Решение одной граничной задачи теории функций // Докл. АН СССР. — 1946. — Т. 53. — № 8. — С. 683—686.
8. Квеселав Д.А. Об одной граничной задаче теории функций // Сообщ. АН. Груз. ССР. — 1946. — Т. 7. — № 9—10. — С. 609—614.
9. Квеселав Д.А. Решение одной граничной задачи теории функций Т. Карлемана // Докл. АН СССР. — 1947. — Т. 55. — № 8. — С. 683—686.
10. Квеселав Д.А. Некоторые граничные задачи теории функций // Труды Матем. ин-та. Груз. ССР. — 1948. — Т. 16. — С. 39—80.
11. Мухелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. М.: Физматгиз, 1968. — 512 с.
12. Blied N. Generalized analytic functions in fractional Spaces. — Addison Wesley Longman inc., 1997.
13. Haseman C. Anwendung der Theorie der Integralgleichungen auf einige Randwertaufgaben. — Göttingen, 1907. — 192 p.
14. Karleman T. Sur la théorie des equations intégrales et ses applications // Verhandl. des Internat. Mathem. Kongr. I. — Zürich, — 1932. — P. 138—151.

## 1.2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ

### УДИВИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРВОЙ ЧЕТВЕРКИ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ

*Малаховский Владислав Степанович*

*д-р ф.-мат. наук,  
заслуженный деятель науки Российской Федерации,  
профессор Балтийского Федерального университета им. И. Канта,  
г. Калининград  
E-mail: [shmeleva\\_svetlana@mail.ru](mailto:shmeleva_svetlana@mail.ru)*

### THE AMAZING PROPERTIES OF THE FIRST FOUR PRIMES

*Malakhovskii Vladislav*

*doctor of physical and mathematical Sciences,  
Professor Baltic Federal University. I. Kant.  
Kaliningrad*

#### АННОТАЦИЯ

Показано, что простые числа 2,3,5,7 удивительным образом порождают конечные подмножества простых чисел.

#### ABSTRACT

It is shown that the primes 2,3,5,7 an amazing way to generate a finite subset of Prime numbers.

**Ключевые слова:** простое число, подмножество, взаимозаменяемость.

**Keywords:** a Prime number, subset, interchangeability

Ч. Узерелл утверждал, что всякий, кто изучает простые числа, бывает очарован и одновременно ощущает собственное бессилие. Определение простых чисел так просто и очевидно; найти очередное простое число так легко, разложение на простые сомножители — такое

естественное действие. Почему же простые числа столь упорно сопротивляются попыткам постичь порядок и закономерности их расположения? Может быть, в них вообще нет порядка, или же мы так слепы, что не видим его? [5].

В рамках теоретико-числовых исследований, связанных с всеобъемлющей ролью простых чисел в математике и философии, позволивших автору открыть пять удивительных совокупностей квадратных трехчленов, доказать теорему о частичной периодизации и получить ряд не менее значимых результатов [2], обратимся к более подробному исследованию первых четырех простых чисел 2,3,4,5.

Какие же закономерности, неизвестные доселе, открывает, казалось бы, тривиальная числовая последовательность?

Рассмотрим подмножества (1):

$$\begin{aligned} & p*q + 2^{2n-1}, \\ & p*q + r*2^{2n-1}, \\ & p + q*2^{2n-1}, \\ & p + r*2^{2n-1}, \\ & q+p*2^{2n-1}, \\ & q+r*2^{2n-1}, \\ & r + p*2^{2n-1}, \\ & r + p*2^{2n-1}, \\ & r + q*2^{2n-1}, \end{aligned}$$

где:  $n=1,2,3$ , а  $p, q, r$  — попарно различные числа из множества  $\{3,5,7\}$ .

Исследование подмножеств (1) показало, что каждое из этих подмножеств состоит из трех простых чисел.

Действительно, числа

$$\begin{aligned} & 3*5 + 2^{2n-1}, \\ & 3*7 + 2^{2n-1}, \\ & 5*7 + 2^{2n-1}, \\ & 3*5 + 7*2^{2n-1}, \\ & 3*7 + 5*2^{2n-1}, \\ & 5*7 + 3*2^{2n-1}, \\ & 3 + 5*2^{2n-1}, \\ & 5 + 3*2^{2n-1}, \\ & 7 + 3*2^{2n-1}, \\ & 3 + 7*2^{2n-1}, \\ & 5 + 7*2^{2n-1}, \\ & 7 + 5*2^{2n-1}, \end{aligned} \tag{2}$$

при  $n=1,2,3$  являются различными подмножествами простых чисел:

$$\{17, 23, 47\};$$

$$\{23, 29, 53\};$$

{37, 43, 67};  
 {29, 71, 239};  
 {31, 61, 181};  
 {41, 59, 131};  
 {13, 43, 163};  
 {11, 29, 101};  
 {13, 31, 103};  
 {17, 59, 227};  
 {19, 61, 229};  
 {17, 47, 167}.

Рассмотрим следующие подмножества, образованные посредством исследуемой четверки простых чисел:

$$3 + 5 + 7 + 2^n \ (n= 1, 2, 3, 4, 5, 6) ;$$

$$3 * 5 * 7 + 2^n \ (n= 1, 2, 3)$$

Оказывается, что они также состоят из простых чисел:

{17, 19, 23, 31, 47, 79};  
 {107, 109, 113}.

Порожденные удивительной четверкой первых простых чисел подмножества:

$$3 + 2^n \ (n= 1, 2, 3, 4) ;$$

$$2 + 3^n \ (n= 0, 1, 2, 3, 4);$$

$$2 * 3 + 2^n + 3^n \ (n= 1, 2, 3, 4, 5);$$

$$2 * 5 + 5^n \ (n= 0, 1, 2, 3, 4);$$

$$2^n + 5^n \ (n= 0, 1, 2);$$

$$5 + 2 * 3^n \ (n= 0, 1, 2, 3, 4, 5);$$

$$5 + 2 * 7^n \ (n= 0, 1, 2, 3);$$

$$3 * 5^n + 2^n \ (n= 1, 2, 3);$$

$$3 * 5 + 2^n \ (n= 1, 2, 3, 4, 5, 6);$$

$$3 + 2 * 5^n \ (n= 0, 1, 2);$$

$$3 + 2 * 7^n \ (n= 0, 1, 2);$$

$$3 * 5 + 2^{2n} \ (n= 0, 1, 2, 3, 4, 5)$$

также являются последовательностями простых чисел:

{5, 7, 11, 19};  
 {3, 5, 11, 29, 83};  
 {11, 19, 41, 103, 281};  
 {11, 13, 19, 37};  
 {17, 23, 41};  
 {11, 17, 59, 353, 2401};  
 {7, 11, 31, 131, 631};  
 {2, 7, 29};  
 {7, 11, 23, 59, 167, 491};

{7, 19, 103, 691};  
{17, 79, 383};  
{17, 19, 23, 31, 47};  
{17, 19, 31, 271, 65551, 4294967311}.

Из изложенного вытекает, что одним из наиболее значимых и особенно удивительных свойств исследуемых простых чисел  $\{3,5,7\}$  является их взаимозаменяемость в формулах (1).

### **Список литературы:**

1. Малаховский В.С. Пространственная модель натуральных чисел, порожденная подмножеством простых чисел. Вестник Калининградского государственного университета, 2000, с. 106—112.
2. Малаховский В.С. Числа знакомые и незнакомые. Калининград, Янтарный сказ, 2004. — 184 с.
3. Малаховский В.С., Малаховский Н.В. О компьютерном моделировании некоторых числовых систем и дискретных семействах пифагоровых треугольников. Вестник Калининградского государственного университета им. И. Канта, серия Информатика и телекоммуникации. № 3, 2003, С. 39—46.
4. Малаховский В.С. Подмножества простых чисел в обобщенных арифметических прогрессиях. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия физико-математические науки, № 10, 2011, С. 128—131.
5. Уэзерелл Ч. Этюды для программистов. М. Мир, 1982. — 288 с.

## **СЕКЦИЯ 2.**

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

#### **2.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ**

##### **ОБОСНОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, РАБОТАЮЩИХ НА ПОНИЖЕННЫХ ЧАСТОТАХ**

***Чипига Александр Федорович***

*канд. техн. наук, профессор,  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь  
E-mail: [zik@ncstu.ru](mailto:zik@ncstu.ru)*

***Киселев Данил Павлович***

*студент 4 курса,  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь  
E-mail: [zik@ncstu.ru](mailto:zik@ncstu.ru)*

***Меденец Виктор Владимирович***

*студент 4 курса,  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь  
E-mail: [zik@ncstu.ru](mailto:zik@ncstu.ru)*

***Песков Марк Владимирович***

*студент 4 курса,  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь  
E-mail: [zik@ncstu.ru](mailto:zik@ncstu.ru)*

# **BASIS OF PARAMETERS SETTING FOR SATELLITE COMMUNICATION EQUIPMENT, USING LOW-FREQUENCY CARRIER**

***Chipiga Alexander***

*candidate of Science, Professor, North-Caucasus Federal University,  
Stavropol*

***Kiselev Danil***

*4 course student, North-Caucasus Federal University, Stavropol*

***Medenets Victor***

*4 course student, North-Caucasus Federal University, Stavropol*

***Peskov Mark***

*4 course student, North-Caucasus Federal University, Stavropol*

## **АННОТАЦИЯ**

Показана возможность решения задачи обеспечения заданных помехоустойчивости и энергетической скрытности систем спутниковой связи, работающих на пониженных частотах, путем расчета технических характеристик радиосредств.

## **ABSTRACT**

In this article performance calculation of radio facilities is suggested as an approach to solution of the problem of noise immunity and energetic concealment of satellite communication systems.

**Ключевые слова:** системы спутниковой связи; поглощение волны в ионосфере; пространственно-разнесённый прием сигнала; технические характеристики радиосредств; помехоустойчивость; энергетическая скрытность.

**Keywords:** satellite communication systems; wave absorption in ionosphere; split signal reception; radio facilities specs; noise immunity; energetic concealment.

Известно [1], что помехозащищенность любых систем связи, в том числе систем спутниковой связи (ССС), определяется двумя составляющими: помехоустойчивостью (ПУ) и скрытностью (Ск). ПУ систем связи при передаче дискретных сообщений оценивается или

по величине вероятности ошибочного приема ( $P_{\text{ош}}$ ) при заданном отношении сигнал/шум (С/Ш) на входе ПРМ ( $h^2$ ), или по величине отношения С/Ш ( $h^2$ ) при заданной вероятности ошибки ( $P_{\text{ош}}$ ):

$$P_{\text{ош}} = \Psi(h^2), \text{ или } h^2 = \Psi^{-1}(P_{\text{ош}}). \quad (1),(2)$$

Условие обеспечения ПУ ССС записывается в виде неравенства (3), или равенства (4):

$$h^2 \geq h_{\text{доп}}^2, \text{ или } h^2 = h_{\text{доп}}^2 \Gamma, \quad (3),(4)$$

где допустимое отношение С/Ш ( $h_{\text{доп}}^2$ ) определяется по функциональной зависимости (1) при вероятности ошибки ( $P_{\text{ош}}$ ), равной ее допустимому значению ( $P_{\text{ош}} = P_{\text{ошдоп}}$ ), а множитель  $\Gamma \geq 1$  — это энергетический (или системный) запас на неучитываемые факторы (в ССС этот запас может составлять от  $\Gamma=1$  дБ до 10 дБ и его выбор является сложной задачей).

Условия обеспечения ПУ ССС (4) можно записать в развернутом виде как [2]

$$h^2 = \frac{P_t G_t(f_0) G_r(f_0)}{L_0(f_0) L_{\Pi}(f_0) k_b T_{\text{э}}(f_0) R_T} = h_{\text{доп}}^2(f_0) \Gamma, \quad (5)$$

где:  $P_t$  — мощность передаваемого сигнала;

$G_{t,r}(f_0) \approx 0,5(\pi d_A f_0 / c)^2$  — коэффициенты усиления передающей ( $t$ ) и приемной ( $r$ ) антенн диаметром  $d_A$ ;

$L_0(f_0) = (4\pi z_0 f_0 / c)^2$  — потери при распространении радиоволн (РРВ) в свободном пространстве на расстоянии  $z_0$ ;

$L_{\Pi}(f_0)$  — потери на поглощение в среде РРВ;

$k_b$  — постоянная Больцмана;

$T_{\text{э}}(f_0)$  — эквивалентная шумовая температура приемной системы;

$R_T$  — скорость передачи.

Анализ условия (5) показывает, что в традиционно используемом ССС диапазоне частот  $f_0 = 1...10$  ГГц оно легко выполняется при скорости передачи  $R_T \approx 0,1...1$  Мбит/с и мощности передатчика (ПРД) всего  $P_T \approx 10$  Вт. Это обусловлено хорошими условиями распространения радиоволн (при потерях в свободном пространстве  $L_0 = (4\pi z_0 f_0 / c)^2 \approx 180$  дБ на расстоянии  $z_0 = 4 \cdot 10^7$  км потери на поглощение в ионосфере составляют всего  $L_{\Pi}(f_0) \approx 0,1$  дБ), высоким коэффициентом усиления передающей и приемной антенны  $G_{t,r} \approx 0,5(\pi d_A f_0 / c)^2 \sim 20...40$  дБ и низкой шумовой температурой внешних помех  $T_{\Sigma}(f_0) \approx 100$  К.

Однако хорошие условия распространения радиоволн (РРВ) в ССС обуславливают низкий коэффициент энергетической скрытности (ЭСк).

Известен [3] способ повышения ЭСк ССС за счет понижения частоты до  $f_0 = 60...80$  МГц и разнесенного приема на несколько антенн.

Условие обеспечения ПУ ССС (5) при использовании пониженной частоты ( $f_0 \approx 30...100$  МГц) и сдвоенного ( $n = 2$ ) приема сигналов можно конкретизировать с учетом выражений для коэффициентов усиления антенн метрового диапазона волн типа «волновой канал»  $G_{t,r} \approx 7L_{\Delta t,r} f_0 / c = k_A L_{\Delta t,r} f$ , где  $L_{\Delta t,r}$  — длина антенны, и потерь передачи в свободном пространстве  $L_0 = (4\pi z_0 f_0 / c)^2 = (k_0 z_0 f_0)^2$  к следующему виду:

$$h^2 = \frac{P G_t(f_0) G_r(f_0)}{L_0(f_0) L_{\Pi}(f_0) k_B T_{\Sigma}(f_0) R_T} = \frac{P L_{\Delta t} L_{\Delta r} k_A^2 / R_T}{z_0^2 k_0^2 L_{\Pi}(f_0) k_B T_{\Sigma}(f_0)} = h_{\text{доп2}}^2(f_0) \Gamma. \quad (6)$$

Согласно (6) потери на поглощение волны в ионосфере  $L_{\Pi}(f_0) \sim N_T / f_0^2$ , определяемые ее ПЭС ( $N_T$ ), и шумовая температура внешних помех  $T_{\Sigma}(f_0) \sim 1 / f_0^{2,4}$  этом диапазоне могут существенно возрасти, а отношение С/Ш на входе ПРМ ССС — уменьшаться с понижением частоты.

Анализ условия обеспечения ПУ ССС (6) при использовании пониженной частоты ( $f_0 \approx 30...100$  МГц) и двоянного ( $n = 2$ ) приема сигналов показывает, что при величинах  $\Gamma = 1...10$  дБ;  $R_T \approx 10^5$  бит/с;  $h_{\text{дон}2}^2 = 27...37$  дБ и типовых значениях параметров (10) на частоте  $f_0 \approx 60$  МГц:

$$G_{t,r}(f_0) \approx 7L_{\Delta t,r} f_0 / c = k_A L_{\Delta t,r} f_0 \approx 5 \text{ дБ};$$

$$L_0 = (4\pi z_0 f_0 / c)^2 = (k_0 z_0 f_0)^2 \sim 150 \text{ дБ};$$

$$L_{\Pi}(f_0) \sim N_T / f_0^2 \sim 1...20 \text{ дБ}; \quad T_3(f_0) \sim 1 / f_0^{2,4} \sim 10^5 \text{ }^\circ \text{K}$$

необходимо обеспечить мощность излучения бортового ПРД  $P_t \sim 5 \cdot 10^2...5 \cdot 10^4$  Вт, что практически нереализуемо.

Отсюда следует вывод о наличии крупной практической проблемы, состоящей в том, что при использовании в ССС пониженной несущей частоты ( $f_0 \approx 30...100$  МГц) и пространственно-разнесенного приема сигналов на  $n = 2$  антенны условие обеспечения ПУ ССС может не выполняться при реализуемых технических характеристиках радиосредств (мощности передатчика  $P_t < 10^2...10^3$  Вт, размерах передающих и приемных антенн  $L_{\Delta t,r} < 10$  м, скорости передачи  $R_T = 10^5...10^6$  бит/с, энергетическом запасе  $\Gamma = 1...10$  дБ).

Поэтому актуальной практической задачей является разрешение проблемы выбора технических средств, обеспечивающих требуемую ПУ и ЭСк ССС при использовании пониженной частоты ( $f_0 \approx 30...100$  МГц) и двоянного ( $n = 2$ ) приема сигналов.

### Список литературы:

1. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. — М.: Вузовская книга, 2003. — 528 с.
2. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; Под ред. Г.И. Тузова. — М.: Радио и связь, 1985. — 264 с.

3. Пашинцев В.П., Чипига А.Ф., Сенокосова А.В., Дагаев Э.Х. Метод оценки энергетической скрытности систем спутниковой связи с пониженной частотой // Труды XVI Международной научно-технической конференции «Радиолокация навигация связь», г. Воронеж 13—15 апреля 2010 г., с. 2120—2130.
4. Чипига А.Ф., Сенокосова А.В. Защита информации в системах космической связи за счёт изменения условий распространения радиоволн // Космические исследования. 2007. Т. 45. № 1. С. 59—66.
5. Чипига А.Ф., Сенокосова А.В., Алексеев Д.В., Бессмертный Ю.М., Барышев А.Н. Повышение помехозащищённости систем спутниковой связи за счёт понижения несущей частоты и разнесенного приема // Сб. трудов международной НПК «Информационные технологии в образовании, науке и производстве». Ч. 2. Серпухов. 2010. С. 346—348.
6. Чипига А.Ф., Шевченко В.А., Сенокосова А.В., Дагаев Э.Х. Математическая модель трансионосферного канала с учетом поглощения и многолучевости принимаемого сигнала // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2011. № 1 (25). С. 32—40.

## **2.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

### **УПРАВЛЕНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ**

***Калякина Инесса Македоновна***

*канд.экон.наук, доцент ЮФУ,  
г. Таганрог*

*E-mail: [inessakalyakina@yandex.ru](mailto:inessakalyakina@yandex.ru)*

***Номерчук Александр Яковлевич***

*ассистент кафедры систем автоматического управления  
ФГАОУ ВПО, ЮФУ,  
г. Таганрог*

*E-mail: [nomerchuk@gmail.com](mailto:nomerchuk@gmail.com)*

### **DEPARTMENT OF SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEM**

***Kalyakina Inessa***

*ph.D. in Economics, Associate Professor of SFU,  
Taganrog*

***Nomerchuk Alexander***

*assistant Professor of Automatic Control Systems FGAOU VPO, SFU,  
Taganrog*

### **АННОТАЦИЯ**

Данная статья рассматривает основы социально-экономического управления. Рассматривая материалы других статей по управлению и на основе фундаментальных свойств системы, сформулировано определение управления в социально-экономических системах. Оно состоит в обеспечении такого режима функционирования происходящих в них процессов, который обеспечивает их эмерджентность.

## ABSTRACT

This article covers the basics of social and economic governance. Considering the materials of other articles on the management and on the basis of the fundamental properties of the system, the definition set forth in the management of socio-economic systems. It is to ensure that the mode of functioning processes occurring in them, which ensures their emergence.

**Ключевые слова:** организация, управление, система, социально-экономическая система

**Keywords:** organization, management, system, socio-economic system

В России с возникновением рыночных преобразований стало актуальным использовать понятие социально-экономической системы. Что понимается под социально-экономической системой? Как известно, под системой понимают совокупность взаимодействующих элементов, представляющих единое целое и образующих новое свойство. У системы есть свойства, признаки и характеризующие системные качества. Системы можно классифицировать по различным основаниям. Так вот, например классификацию систем можно представить в виде рисунка 1 [1].



*Рисунок 1. Классификация систем*

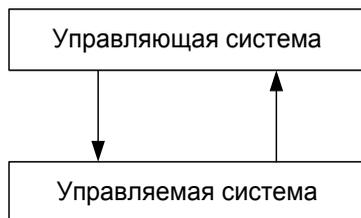
Социально-экономическая система является, локализованной в экономическом пространстве. Она имеет исторические, географические, духовные и экономические границы, может воплощаться в государственно-политических образованиях или в иных организациях. Основными свойствами социально-экономических систем принято считать целостность, иерархичность и интегративность. Целостность в том, что при изменении одного компонента системы

происходит влияние на другие ее компоненты и все это приводит к изменению всей системы в целом. Иерархичность подразумевает то, что каждая система может быть рассмотрена как элемент более высокого порядка. Интегративность предполагает, что система в целом обладает свойствами, которые отсутствуют у нее элементов.

Социально-экономические системы можно классифицировать по формальным признакам, можно представить в виде управления совокупностью взаимосвязанных подсистем.

Как известно, управление это процесс планирования, организации, мотивации и контроля, необходимый для формулирования и достижения целей организации.

А система управления — это целенаправленное воздействие на объект управления с целью его перевода в состояние, соответствующее поставленным целям, или поддержания в данном состоянии. В само общем виде схему управления организацией можно представить в виде рисунка 2. Где обязательно существует целенаправленное воздействие, т. е. субъект управления и управляемая система, т. е. объект управления. Между субъектом и объектом управления находится прямая связь, с помощью которой передаются указания и обратная связь, которая дает представление о процессе выполнения работ.



***Рисунок 2. Схема управления организацией***

Для успешного функционирования организаций необходимо проводить стратегическое планирование, как составного процесса управления. Планирование можно проводить как на краткосрочную перспективу, так и на долгосрочную. Этапы стратегического управления предприятием можно представить в виде рисунка 3 [2].



***Рисунок 3. Этапы стратегического управления предприятием***

Процесс стратегического управления предприятием является динамическим процессом. Он рассматривает рыночный механизм, описывает строгую последовательность всех этапов управления. На основе системного подхода и теории классификации существует концептуальная схема предприятия. В этом случае предприятие рассматривается, как сложная социально-экономическая система, состоящая из подсистем. И это позволяет сократить затраты на разработку стратегического плана и повысить эффективность принятия решений



**Рисунок 4. Социально-экономическая система предприятия**

В стратегическом управлении большое место отводится диагностическому анализу. Его можно проводить по глобальным проблемам. Элементами такого анализа могут быть: SWOT-анализ, СТЕР-анализ, анализ социально-экономического положения, ранжирование проблем управления, формирование критериев управления, оценка конкурентных преимуществ и разработка идей развития. Обычно к показателям социально-экономического развития относят: систем управления, техническое развитие, производство, персонал, маркетинг, экономику и финансы. Необходимо производить классификацию целей и критериев управления предприятием. Для каждой цели необходимо прописать соответствующие критерии управления.

#### **Список литературы:**

1. Основы менеджмента [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://management-bases.narod.ru/> (дата обращения 17.07.2013).
2. Управление социально-экономической системой: монография/Под ред. А.П. Егоршина, В.А. Кожина. — Н.Новгород: НИМБ, 2009 — 288 с.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДОМ ПЕРЕНОСНОГО СТАНОЧНОГО МОДУЛЯ

*Погонин Денис Анатольевич*

*аспирант, Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г. Шухова,  
Россия, г. Белгород  
E-mail: [carnage\\_777@mail.ru](mailto:carnage_777@mail.ru)*

## DRIVE CONTROL OF MOBILE MACHINING MODULE

*Pogonin Denis*

*postgraduate student, Belgorod state technological university  
named after V.G. Shukhov,  
Russia, Belgorod*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы управления приводами подачи станочного модуля нестационарной обработки, приведены диаграммы движения инструмента при работе модуля в автоматическом и автоматизированном режиме, выполнен подбор двигателей приводов подачи.

### ABSTRACT

In this paper we consider problems of nonstationary machining module drive control, present flowcharts of tool movement during the machining module work in automatic and automated mode, perform the selection of feed motors.

**Ключевые слова:** управление; привод; подача; восстановительная обработка; станочный модуль; крупногабаритные тела вращения.

**Keywords:** control; drive; feed; restoring; machining module; large-size bodies of revolution.

В настоящее время в технологических комплексах машиностроительных предприятий, горнорудных, цементных, химических заводов и других предприятий промышленного комплекса широко используются технологические агрегаты, составными

элементами конструкции которых являются крупногабаритные детали и узлы, т. е. изделия, габариты или один из габаритов которого оказывают существенное влияние на процесс его изготовления, эксплуатации или транспортировки [3]. Особенностью эксплуатации подобных изделий является то, что их восстановление и ремонтное обслуживание ввиду особенностей конструкции не представляется возможным без использования стационарных обрабатывающих комплексов, встраиваемых станочных модулей нестационарной обработки, позволяющих выполнять обработку без остановки производственного процесса, специальных технологий восстановления рабочих поверхностей, например селективная электрохимическая металлизация и плазменное напыление.

Важнейшим фактором, характеризующим эффективность работы технологических агрегатов, основу конструкции которых составляют крупногабаритные детали, является их надежность, зависящая от качества монтажных работ, своевременного и эффективного профилактического и ремонтного обслуживания. Повышение надежности при использовании существующих специальных технологий восстановительной обработки, а также обрабатывающих комплексов является труднодостижимой задачей ввиду того факта, что оптимизация вышеперечисленных технологий обработки в настоящий момент практически невозможна. Эффективность возможных вариантов конструкции оборудования, компоновка его основных частей, вариативность применения комплектующих, варианты построения технологических систем и совершенствования непосредственно технологий тщательно проработаны и изучены.

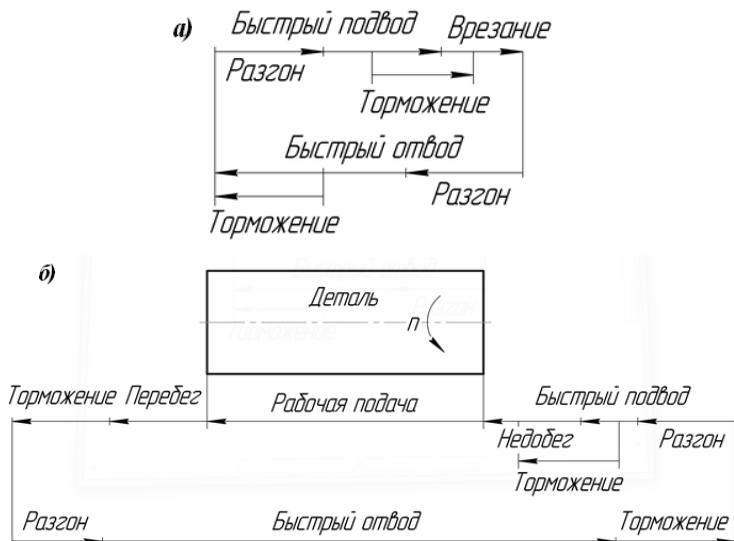
Практика производства показывает, что операции технологических процессов, используемых при ремонтном обслуживании крупногабаритных изделий, являются наиболее трудоемкими ручными операциями, вследствие чего в течение многих лет постоянно наблюдается увеличение численности рабочего персонала в этой области промышленного производства. Как известно, затраты на рабочий персонал, включающие в себя как заработную плату работников предприятия, так и дополнительные отчисления на социальные нужды, являются одними из определяющих при калькуляции себестоимости единицы продукции. Зачастую их общая величина приближается к затратам на амортизацию, содержание, ремонт и эксплуатацию производственных зданий, сооружений и оборудования. Таким образом, автоматизация процесса обработки может рассматриваться, как один из возможных вариантов повышения производительности применяемых технологий

восстановления крупногабаритных изделий, позволяя значительно уменьшить затраты на операции механической обработки посредством снижения количества рабочего персонала, участвующего в производственном процессе, и, как следствие, заработной платы.

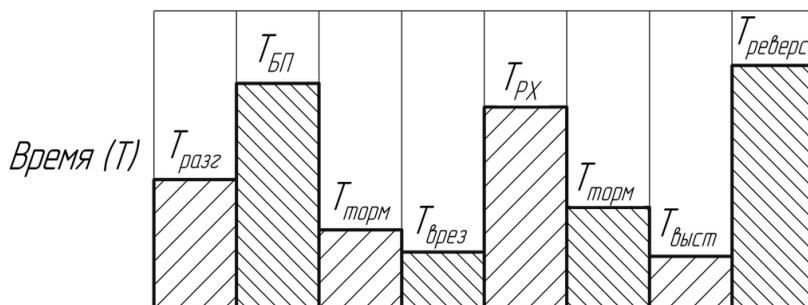
В качестве примера рассмотрим обработку крупногабаритных деталей оборудования цементной промышленности, выполняемую на специальных станочных модулях [2], предназначенных для встраивания в действующее оборудование и позволяющих производить восстановление рабочих поверхностей без прерывания основного технологического процесса. Особенностью подобной нестационарной механической обработки является постоянство частоты вращения обрабатываемого изделия и, как следствие, отсутствие жесткой технологической системы, что делает невозможным рассмотрение частоты вращения детали в качестве одного из варьируемых параметров при автоматизации процесса обработки.

Следовательно, варьирующими факторами при автоматизированной обработке являются всего лишь подачи — продольная и поперечная [4]. Они же являются и управляющими параметрами. Для того чтобы определиться с алгоритмами управления подачами, рассмотрим более детально перемещение режущего инструмента на всех возможных участках траектории.

Схемы перемещения инструмента при нестационарной обработке в автоматическом или автоматизированном режиме представлены на рисунке 1. Циклограмма управления оборудованием представлена на рисунке 2.



**Рисунок 1. Схемы перемещения инструмента при:**  
**а) — поперечной подаче; б) — продольной подаче**



**Рисунок 2. Циклограмма управления оборудованием**

Быстрый подвод инструмента из безопасной позиции к зоне обработки начинается с разгона одного или обоих суппортов до номинальной скорости перемещения. По достижении точки начала обработки выполняется торможение и изменение номинальной скорости перемещения до скорости врезания инструмента, причем время быстрого подвода и время врезания частично перекрываются временем торможения. Скорость перемещения инструмента при выполнении рабочей подачи по величине совпадает со скоростью

врезания. По окончании рабочего хода производится торможение, выстой и быстрый отвод инструмента из зоны обработки с разгоном до номинальной скорости перемещения. При подводе инструмента к безопасной позиции выполняется торможение с последующей остановкой.

Мощность электродвигателей приводов подачи, используемых в станочных модулях нестационарной обработки, составляет от 100 до 150 Вт.

Рассмотрим асинхронные низковольтные электродвигатели общего назначения, выпускаемые зарубежным производителем, например фирмой *Siemens*. Электродвигатели данной серии предназначены для работы от сети напряжением до 380 В и могут быть использованы для частотно-регулируемого электропривода. Двигатели выпускаются на высоту оси вращения 56—160 мм в диапазоне номинальных мощностей 0,06—18,5 кВт.

В качестве электродвигателя привода подачи, используемого во встраиваемом станочном модуле, можно рассмотреть асинхронный низковольтный электродвигатель с короткозамкнутым ротором повышенного КПД серии *1LA7*, модель *1LA7-053-2AA*. Электродвигатель выпускается в соответствии с классификацией асинхронных двигателей Европейского комитета производителей электрических машин и силовой электроники.

В стандартном исполнении двигатель имеет класс изоляции *F* — максимальная температура обмоток электродвигателя, при которой срок службы изоляции составит не менее 20000 часов, не более 150°C. Степень защиты *IP55* дает возможность использовать двигатель в среде с содержанием пыли не превышающем 10 мг/м<sup>3</sup>. Температура окружающей среды при работе может составлять от -20°C до +40°C. Двигатели серии *1LA7* выполняются с самовентиляцией — наружный обдув установленным на валу центробежным вентилятором. По требованию заказчика двигатели могут быть снабжены независимым вентилятором, импульсным датчиком с разрешением 1024 имп/об и электромагнитным пружинным тормозом. Основные технические данные электродвигателя модели *1LA7-053-2AA* даны в таблице 1.

Таблица 1.

Основные технические данные электродвигателя  
модели *ILA7-053-2AA*

$P_H$ , кВт	$\eta_H$ , %	$\eta_p=0.75$ , %	$\cos \varphi_H$	$n_H$ , об/мин	$I_H$ , А	$m_H$ , Нм	$m_R$ , Нм	$k_{ГДВ}$	$J_{ДВ}$ , кг·м <sup>2</sup>
0,14	66	63	0.83	750	0,5	0.61	2	3	0,00018

На рисунке 3 приведена типовая характеристика длительно допустимого момента двигателей общего назначения с самовентиляцией серии *ILA7*, также представленная производителем [1].

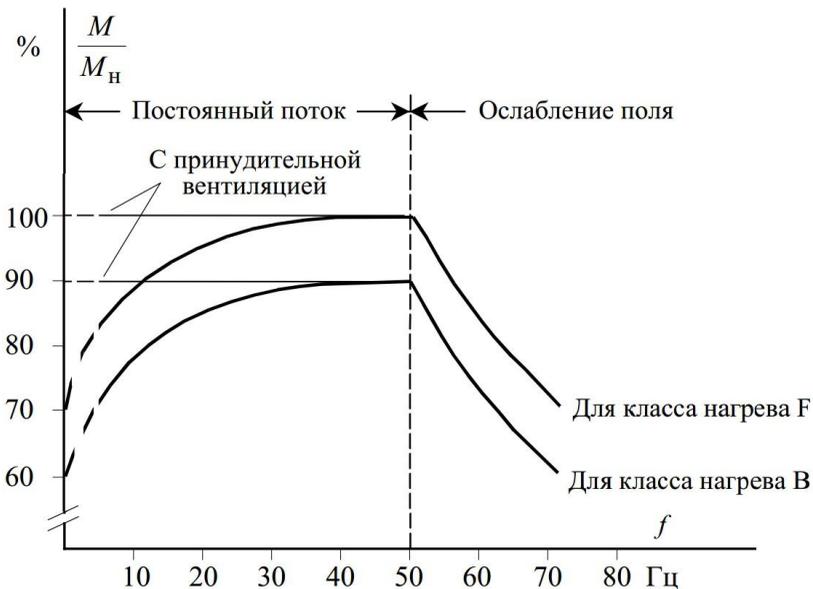


Рисунок 3. Типовые характеристики длительно допустимого момента двигателей общего назначения серии *ILA7*

Из рисунка 3 следует, что рабочим участком характеристики является участок частот питающей сети в диапазоне от 0 до 50 Гц. В диапазоне частот от 50 Гц и выше наблюдается снижение рабочего момента электродвигателя.

Согласно паспортным данным электродвигателя [1] время разгона двигателя до номинальной частоты вращения в 1,7 раз больше времени торможения.

Таким образом, было установлено, что при разработке алгоритмов управления автоматизированной технологической системой восстановительной обработки крупногабаритных тел вращения необходимо руководствоваться паспортными данными приводов подачи встраиваемого станочного оборудования, обеспечивающими заданное время переходных процессов.

### **Список литературы:**

1. Короткозамкнутые электродвигатели стандарта IEC Каталог D 81.1 // Strakt.Ru [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.strakt.ru/static/siemens-D81-1.pdf> (дата обращения: 18.07.2013).
2. Погонин Д.А., Чепчуров М.С., Жуков Е.М. Станочный модуль для восстановительной обработки крупногабаритных тел вращения // Патент России № 120029. 2012. Бюл. № 25.
3. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация параметров механической обработки крупногабаритных деталей: моногр. — Белгород: 2008.
4. Чепчуров М.С. Модернизация управления приводом фрезерного станка с ЧПУ при использовании ПК // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2008. — № 7.

**РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО  
МАТЕРИАЛА В ЦИЛИНДРЕ ЭКСТРУДЕРА  
ПРИ ПОМОЩИ СРЕДЫ VISSIM**

***Грыжов Владимир Константинович***

*канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО ВФ МГУТУ  
им. К.Г. Разумовского,  
г. Вязьма*

***Фролин Дмитрий Викторович***

*студент 4 курса ФГОУ ВПО ВФ  
МГУТУ им К.Г. Разумовского, специальности  
«Автоматизация технологических процессов и производств»,  
г. Вязьма*

*E-mail: [frolindmitrij@rambler.ru](mailto:frolindmitrij@rambler.ru)*

**DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL  
OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL  
OF TEMPERATURE OF THE PROCESSED MATERIAL  
IN THE EXTRUDER USING VISSIM**

***Gryzhov Vladimir***

*candidate of technical sciences, associate professor of Moscow state  
University of technologies and management them K.G. Razumovsky,  
Vyazma*

***Frolin Dmitry***

*student of the 4th of Moscow state University of technologies  
and management, specialty «Automation of technological processes and  
production» them K.G. Razumovsky, Vyazma., Vyazma*

**АННОТАЦИЯ**

Цель данной работы, представленной в статье, является стабилизация и поддержка оптимальной температуры перерабатываемого материала.

Для исследования процесса изменения температуры материала и разработки имитационной модели системы управления применяется среда VisSim.

Представленная структура управления позволяет производить общую стабилизацию температуры цилиндра экструдера и перерабатываемого материала до необходимых значений.

#### **ABSTRACT**

The objective of the work presented in the article, is to stabilize and support the optimal temperature of the processed material.

For research of the temperature of the material and the development of a simulation model of the control system of environment is used VisSim.

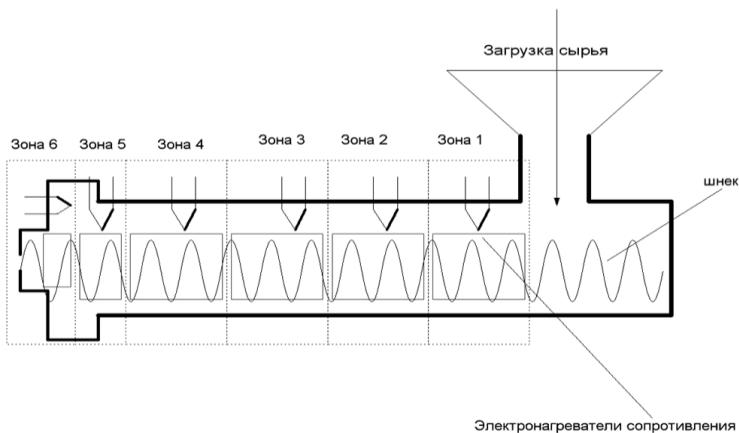
Presented governance structure allows the overall stabilization of the temperature of the cylinder of extruder and processed material to the required values.

**Ключевые слова:** экструзия, шнек, расплав, модель системы управления.

**Keywords:** extrusion, auger, melt, the model of a control system.

В производстве изделий из полимеров используется экструзия — один из наиболее перспективных и быстро развивающихся видов переработки пластических масс. В настоящее время в переработке пластических масс наиболее широко используют одношнековые экструдеры (рис. 1).

Термопластичный материал из бункера поступает в зону загрузки экструдера. Вращающийся шнек увлекает и продвигает материал вдоль цилиндра. За счет трения материала о стенки цилиндра и поверхность шнека, а также при помощи нагревателей материал разогревается до температуры плавления полимера, перемешивается и уплотняется. Высокое давление, возникающее в уплотненной зоне, позволяет продавить вязкий компаунд через фильеру. Выдавленный материал (экструдант) выходит из фильеры, охлаждается и приобретает окончательные форму и размеры.



**Рисунок 1** *Общий вид экструдера с установленными датчиками и нагревателями сопротивления*

По характеру протекающих в канале экструдера процессов можно условно разделить шнек на несколько зон:

- зона питания цилиндра (транспортировка еще твердого материала);
- зона плавления полимера (пластикация смеси);
- зона дозирования (выдавливание расплава).

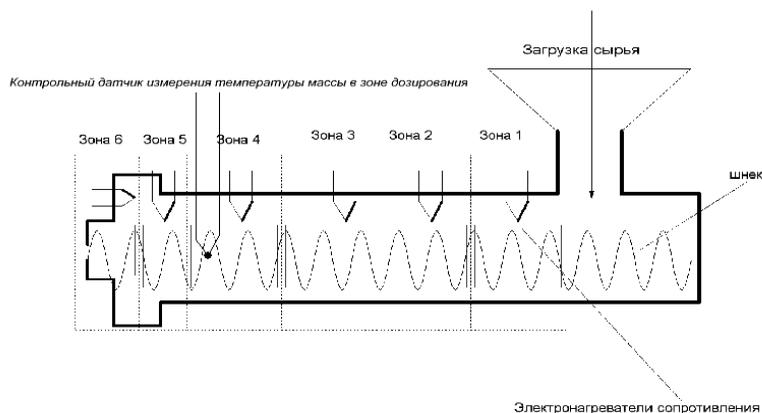
Такое разнообразие технологических процессов предполагает наличие большого количества основных и дополнительных управляемых параметров.

Поэтому современные экструдеры необходимо снабжать эффективными системами автоматического контроля и управления нагрузкой компонентов, температурой пластиковой смеси, давлением расплава (скоростью вращения шнека) и т. д.

При вращении шнека образуется трение материала о стенки цилиндра и поверхность шнека, что влечет за собой повышение температуры перерабатываемого материала; которое может привести к браку продукции (если готовое изделия получают методом экструзии) и усилению износа движущихся частей машины.

В данной статье приводятся некоторые результаты исследований, позволяющие выполнить идентификацию объекта управления и оптимизировать процессы переработки полимерных материалов на основе автоматизации процесса экструзии, а так же осуществить подбор оптимального режима работы оборудования.

Для этого были проведены замеры температуры расплава во время процесса переработки в зоне дозирования шнека (при постоянных глубине канала шнека  $h=2,38$  и размере цилиндра  $L=13D$ ) путем погружения датчика температуры ТХК (термопара хромель — копель) и использованием регулятора температуры ТРМ 138.(рис. 2).



**Рисунок 2 Установка контрольного датчика в зону дозирования шнека экструдера**

Экспериментальные данные исследования зависимости выходной переменной от времени ОУ при постоянном входном воздействии на объект представлены в таблице:

**Таблица 1.**

**Экспериментальные температурные данные**

t, время (мин)	0	10	20	30	40	50	60	70
T, гр Цельсия	20	66	101	126	145	159	170	177

Так же проводилось имитационное моделирование системы управления стабилизации температуры перерабатываемого материала.

С целью поддержания желаемой температуры, при изменении числа оборотов шнека, в цилиндр и шнек экструдера предлагается использовать один из способов охлаждения:

1. Однорядное — охлаждается либо цилиндр, либо шнек;

2. Комбинированное — охлаждается цилиндр и шнек.

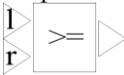
На основании экспериментальных данных процесса охлаждения материала (таблица 2) была разработана модель системы управления.

**Таблица 2.**

**Экспериментальные температурные данные зоны дозирования шнека экструдера в процессе переработки материала**

<i>t, час</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>T, °C</i>	180	180	182	185	192	192	194	194
<i>Об/мин</i>	0	0	0	20	40	40	80	85

Модель системы управления реализована с применением

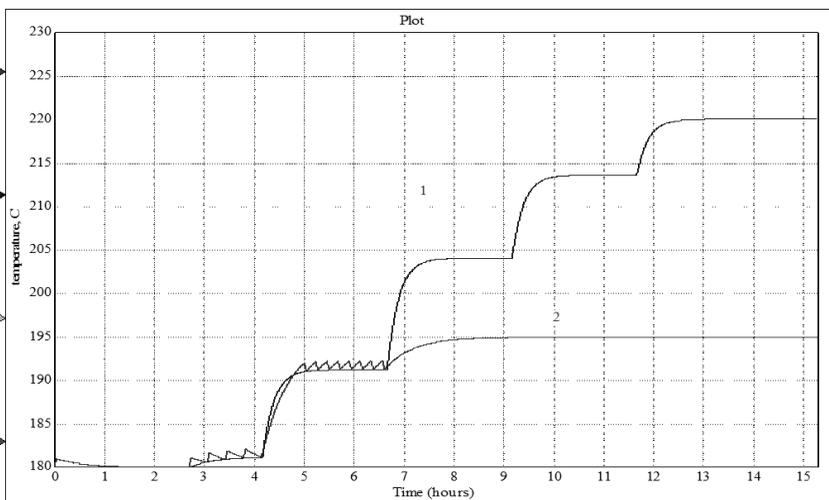
стандартного логического блока  $\geq$ . 

Параметр  $T_n$  — задаваемое значение температуры перерабатываемого материала.

Выходной (реальный) температурный сигнал с объекта управления по каналу обратной связи поступает на один из входов логического элемента, где происходит качественное сравнение реального и задаваемого значения температуры. Если в пределах погрешности эти значения равны, то система работает

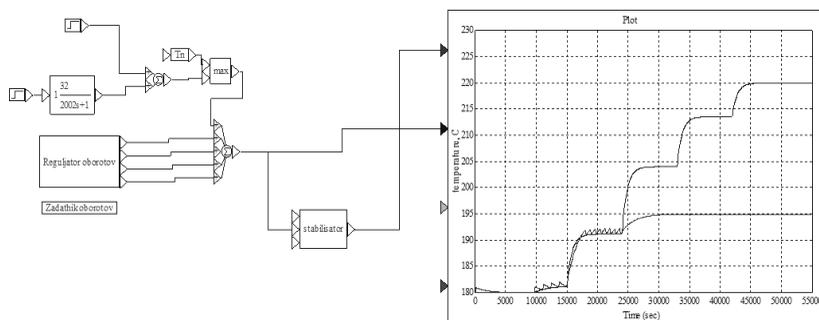
без корректировки. В противном случае, в блоке сумматора  определяется ошибка рассогласования и система управления выводит значение выходного параметра ( $T, ^\circ C$ ) к заданному  $T_n$  (рис 3).





**Рисунок 4. Графики значений температуры объекта:**  
**1. график значений температуры без системы управления;**  
**2. график управляемых значений температуры**

Из графиков видно, что стабилизация температуры наступает постепенно (в интервале времени 28—50 мин.), и уже при плавном переходе на вторую ступень числа оборотов достигает желаемого значения.



**Рисунок 5 Объект управления и система управления в среде VisSim**

Объект управления является многомерным, и соответственно, система управления многомерная и многоконтурная (рис. 5).

### Выводы:

Представленная структура управления позволяет производить стабилизацию температуры в цилиндре экструдера во время переработки материала до желаемых значений.

Представленные результаты исследований структуры управления позволяют проводить имитационное моделирование в различных режимах, с целью оптимизации технологического процесса, не прибегая к проведению экспериментов на реальных объектах.

### **Список литературы:**

1. Брацыхин Е.А., Миндлин С.С., Стрельцов К.Н.. Переработка пластических масс в изделия. Москва, Химия, 2008г. — 145 — 158 стр.
2. [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://www.vissim.com/> (дата обращения: 21.05.2013 г).

# **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМЕТРИИ И ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ, ИМЕЮЩИХ СЛОЖНУЮ ФОРМУ ПОВЕРХНОСТИ**

*Четвериков Борис Сергеевич*

*аспирант, Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г. Шухова,  
Россия, г. Белгород*

*E-mail: [await\\_rescue@mail.ru](mailto:await_rescue@mail.ru)*

## **IDENTIFICATION OF THE GEOMETRY AND POSITION OF OBJECTS HAVING A COMPLEX SHAPE OF THE SURFACE**

*Chetverikov Boris*

*postgraduate student, Belgorod state technological university  
named after V.G. Shukhov,  
Russia, Belgorod*

### **АННОТАЦИЯ**

В статье описывается разработанный авторами метод идентификации геометрии объекта, основанный на анализе спроецированной на контролируемый объект фигуры, формируемой проекциями лазерных лучей, а также дискретно рассматривается процесс сканирования поверхности. Реализация предлагаемого метода идентификации сложной геометрической поверхности и прибора контроля позволяет достигнуть повышения точности определения формы поверхности.

### **ABSTRACT**

This paper describes a method developed by the authors identify the geometry of the object, based on the analysis of the projected figures for controlled object formed by the projections of the laser beams and discretely through the process of scanning the surface. Realization of the offered method of identification of complex geometric surfaces and monitoring device can achieve improve the accuracy of the surface shape.

**Ключевые слова:** идентификация; бесконтактный контроль; объект; геометрия; лазерное устройство; CMOS-матрица; сканирование; измерение; алгоритм; способ.

**Keywords:** identification, noncontact control, object, geometry, laser device; CCD-matrix; scanning; measurement; algorithm; process.

Стабильность вращения — одно из необходимых условий качественной работы машин и механизмов. В том числе такого ответственного и дорогого оборудования, как авиадвигатели, турбогенераторы, прокатные станы, печатные цилиндры и бумагоделательные машины. Известно, что стабильность вращения таких агрегатов зависит от значений круглости их опорных и рабочих поверхностей [2]. Но возможности контроля заданных допусков круглости ограничены. Поэтому появляется необходимость в разработке новых методов и приборов контроля формы крупногабаритных деталей, то есть деталей, имеющих габариты 500 мм и выше. Наиболее прогрессивными на данный момент являются приборы, в основу работы которых положены способы бесконтактного контроля [1], позволяющие осуществлять определение формы без непосредственного контакта с объектом.

Приборами, которые способны с разной степенью результативности решить задачи идентификации геометрии и определения положения объектов, являются лазерные сканеры, трекары, дальномеры. Однако и они не лишены недостатков. Например, лазерные сканеры имеют низкую степень автоматизации при трехмерном моделировании объектов сложной формы. Лазерные дальномеры теряют свою эффективность условиях высокой освещенности помещения или на открытом пространстве, а трекары рассчитаны только на работу в помещениях, на открытом воздухе они способны работать только с дополнительной защитой.

Проанализировав недостатки существующих методов и приборов бесконтактного контроля, авторами был разработан следующий способ определения геометрических характеристик и положения объектов, имеющих сложную форму поверхности. Способ основан на геометрическом анализе проецируемой на поверхность сканируемого объекта фигуры. Фигура, определяемая необходимым количеством опорных точек, формируется посредством проецирования лучей лазеров, подключенных к источнику питания, на поверхность объекта. В начале цикла происходит сканирование по всей площади поверхности измеряемого объекта; сформированный контур фигуры «захватывается» матрицей оптического электронного приемника

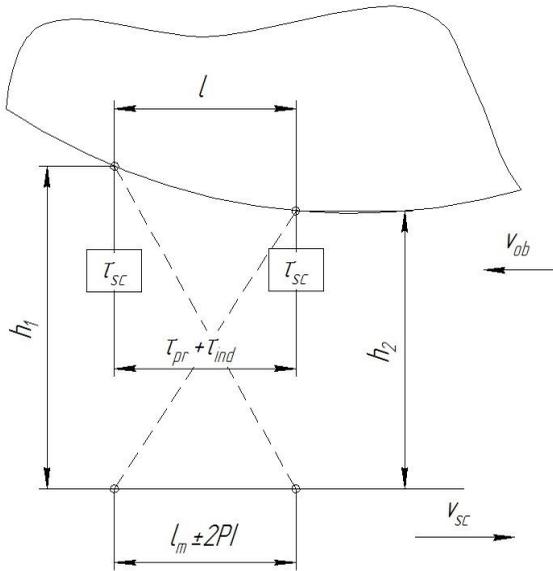
и полученная картинка фиксируется с максимально возможной периодичностью. Затем в процессоре происходит обработка массива информации, определяющей изображение фигуры. Далее происходит процесс обработки «картинки», в том числе конвертация полученного цветного изображения в монохромное программными средствами. Точки контура проецируемой фигуры идентифицируются на изображении, и анализируется их расположение относительно друг друга и заранее определенной системы координат. По алгоритмам, заложенным в специально разработанное программное обеспечение (использование существующего на данный момент на рынке ПО невозможно из-за отсутствия в нём соответствующего функционала), происходит определение типа геометрического примитива участка поверхности. Проведя сканирование объекта по всей поверхности, делается вывод о геометрических характеристиках поверхности объекта в целом и выводится на экран монитора. Описанный способ положен в основу лазерного устройства для определения погрешности формы крупногабаритных объектов [3]. Однако стоит отметить, что способ имеет смысл при измерении объектов больших размеров. В случае малогабаритных изделий при использовании данного прибора, наблюдается явление дифракции света, вследствие чего дальнейшие измерения невозможны.

В качестве излучателей в приборе используются полупроводниковые диодные лазеры красного цвета. Тип лазерной проекции — точка (возможна также модификация линзы лазера насадками — «линия» или «крест»).

В качестве «захватывающего» изображение устройства применяется матрица типа *CMOS*. Матрица имеет разрешающую способность 2592x1936 пикселей. Площадь матрицы составляет 15,7 мм<sup>2</sup>, что позволяет упростить конструкцию прибора. Размер пикселя — 1,75 мкм, что позволяет достичь требуемой точности измерений.

Принцип работы прибора — «проецирование лазерных лучей — захват проекций лазерных лучей матрицей — анализ расположения проекций лазерных лучей».

Рассмотрим процесс сканирования поверхности объекта дискретно. Для примера возьмем цилиндрическую поверхность крупногабаритного объекта. Схема сканирования приведена на рисунке 2.



**Рисунок 1. Схема сканирования поверхности**

Сканирование производится со скоростью  $v_{sc}$  в процессе технологического вращения объекта диаметром  $D=5\text{м}$ , имеющего частоту вращения  $n=1\text{ об/мин}$ . Отсюда линейная скорость точек поверхности объекта  $v_{ob}$  составляет:

$$v_{ob} = \pi \cdot D \cdot n = 3,14 \cdot 5/60 = 0,262 \text{ м/с}$$

Матрица прибора находится на расстоянии  $h$  от участка сканируемой поверхности, причем это расстояние составляет:

$$h = (h_1 + h_2) / 2,$$

где:  $h_1$  и  $h_2$  — расстояния от поверхности матрицы до крайних точек участка.

Прибор сканирует участок поверхности с точностью  $l$ , причём  $l$  и будет расстояние, отсканированное матрицей со скоростью сканирования  $v_{sc}$  за время сканирования  $\tau$ . Стоит учитывать,

что полученное изображение «захвачено» с погрешностью равной  $\pm 2PI$ , где  $PI$  – размер одного пикселя матрицы, равный 1,75 мкм. Отсюда следует, что:  $l = l_m \pm 2PI = l_m \pm 0,003 \text{ мм}$

Общее время сканирования  $\tau$  складывается из времени сканирования  $\tau_{sc}$ , времени обработки массива данных  $\tau_{pr}$ , определяющего графическое изображение, и времени индикации восстановленного графического изображения  $\tau_{ind}$ :

$$\tau = \tau_{sc} + \tau_{pr} + \tau_{ind},$$

где:  $\tau_{pr} = 2 \cdot 10^{-9}$  с (для процессора с тактовой частотой 2 ГГц);  $\tau_{ind} = 5 \cdot 10^{-3}$  с (время отклика);

$\tau_{sc}$  — необходимо достигнуть минимального значения.

Таким образом, реализация предлагаемого способа бесконтактного контроля даёт возможность быстрого определения формы и положения вращающегося объекта, путём геометрического анализа проецируемой фигуры. Также обеспечивается необходимая точность измерений за счёт применения в приборе современных лазерных технологий и *CMOS*-матрицы.

### Список литературы:

1. Егунов О.Б., Чепчуров М.С. Устройство бесконтактного измерения шероховатости поверхностей деталей сложной формы // Сборник научных трудов Sworld по материалам международной научно-практической конференции. — Одесса: Куприенко, 2010.
2. Чепчуров М.С., Блудов А.Н. Восстановление поверхностей катания железнодорожного оборудования с использованием адаптивного управления // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2012. — № 7.
3. Четвериков Б.С., Чепчуров М.С., Блудов А.Н. Лазерное устройство для определения погрешности формы крупногабаритных объектов// Патент России № 121362. 2012. Бюл. № 29.

## 2.3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, КОМПЛЕКСЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

### АЛГОРИТМ РЕКОНФИГУРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВРЕМЕНИ

***Клименко Анна Борисовна***

*канд. техн. наук, младший научный сотрудник,  
научно-исследовательский институт многопроцессорных  
вычислительных систем имени академика А.В. Каляева  
федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Южный федеральный университет»,  
г. Таганрог  
E-mail: [anna\\_klimenko@mail.ru](mailto:anna_klimenko@mail.ru)*

***Мельник Эдуард Всеволодович***

*канд. техн. наук, заведующий лабораторией,  
научно-исследовательский институт многопроцессорных  
вычислительных систем имени академика А.В. Каляева  
федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Южный федеральный университет»,  
г. Таганрог*

# DISTRIBUTED INFORMATIONAL CONTROL SYSTEM RECONFIGURATION ALGORITHM IN THE LACK OF TIME CONDITIONS

*Klimenko Anna*

*ph.D in Computer science, junior research fellow, SFedU Acad. Kalyaev  
Scientific Research Institute of Multiprocessor Computer Systems,  
Taganrog*

*Melnik Edward*

*ph.D in Computer science, Head of Laboratory, SFedU Acad. Kalyaev  
Scientific Research Institute of Multiprocessor Computer Systems,  
Taganrog*

## АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам реконфигурирования РИУС в условиях дефицита времени. Приводится математическая модель задачи, на примере адаптированного алгоритма имитации отжига показана возможность сокращения времени получения решения.

## ABSTRACT

The paper is devoted to the DICS reconfiguration in the lack of time conditions questions. The mathematical model of task is presented. Also, by presented example of adapted simulated annealing algorithm, the possibility of the decision calculating time reducing is shown.

**Ключевые слова:** параллельные вычисления; информационно-управляющая система; реконфигурация; восстановление; имитация отжига.

**Keywords:** parallel computing; informational-control system; reconfiguration; recovery; simulated annealing.

Информационно-управляющие системы (ИУС) применяются практически повсеместно, начиная от бытовой техники и заканчивая комплексными объектами атомной энергетики и авиационной техники. В общем случае ИУС определяется как цифровая система контроля или управления некоторым реальным объектом, а основным ее отличием от универсальной вычислительной системы является то, что ИУС решаются задачи, связанные с необходимостью принятия решения в реальном времени.

Если вести речь о современных ИУС, то их классифицируют по различным признакам. Например, одним из часто используемых

признаков классификации является критичность возникновения ошибки на объекте, находящемся под управлением ИУС. Выделяют следующие основные классы объектов [4]:

- возникновение ошибки не критично и не влечет за собой сколь-нибудь значимые последствия, при этом доступ к объекту не затруднен (бытовая и офисная техника);
- возникновение ошибки не приводит к значимым последствиям, однако объект эксплуатируется в условиях невозможности своевременного доступа и проведения ремонтных работ (искусственные спутники Земли);
- возникновение ошибки в управлении объектом может привести к серьезным последствиям: человеческим жертвам, техногенным катастрофам и т. п. (авиационная техника, объекты атомной энергетики, ТЭС, ГЭС и прочее).

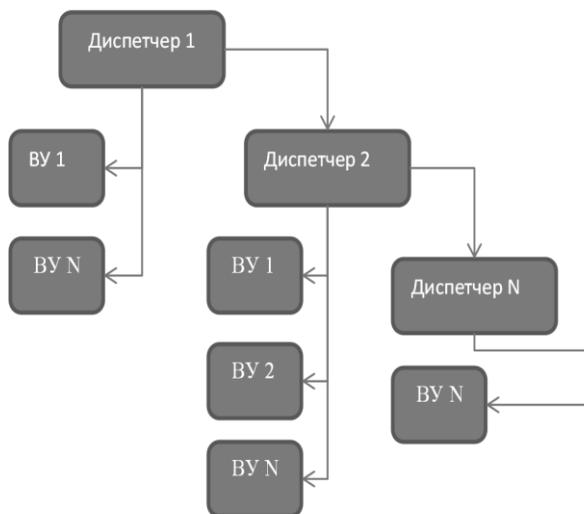
Необходимость обеспечения должной степени отказоустойчивости и надежности ИУС двух последних классов объектов акцентировала внимание на разработке соответствующих ИУС. Рассмотрим кратко архитектуры ИУС [4]. В настоящее время до сих пор одной из самых используемых является централизованная архитектура ИУС (рис. 1).



***Рисунок 1. Централизованная архитектура ИУС***

Недостатки такой архитектуры вполне очевидны: в случае отказа ВУ, на котором расположен центральный диспетчер, который распределяет подзадачи по подчиненным ВУ, система полностью утрачивает работоспособность. Дублирование центрального диспетчера

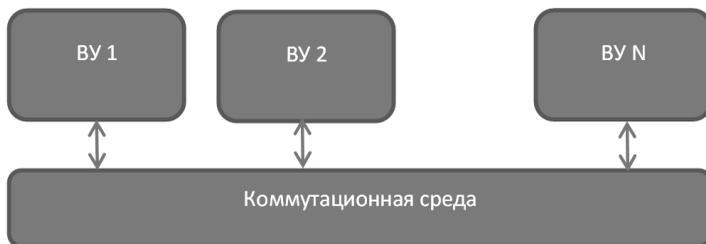
также не всегда допустимо, например, при жестких требованиях к массо-габаритным показателям аппаратного комплекса. Альтернативным решением является иерархическая архитектура (рис. 2), функционирование которой подробно изложено в работах [2, 3].



**Рисунок 2. Иерархическая архитектура ИУС**

Предполагается, что в случае отказа одного из диспетчеров, его задачи на себя принимает дочерний узел. Однако такой подход к построению ИУС влечет немало проблем реализации, таких, например, как способ выбора «замещающего» диспетчера, передача контекста выполняемой подзадачи, возвращение диспетчера к работе после восстановления и т. п.

Еще одним типом архитектуры ИУС является децентрализованная (распределенная). Распределенная ИУС (РИУС) подразумевает следующее: в систему объединяются равноправные однотипные ВУ с унифицированным программным обеспечением, как показано на схеме рис. 3.



**Рисунок 3. распределенная архитектура ИУС**

Последняя архитектура считается наиболее перспективной в аспектах надежности и способности к восстановлению после сбоев [4].

Процесс восстановления после происшедшего сбоя и выхода из строя одного и более ВУ, иными словами — реконфигурация — является одним из важнейших процессов РИУС. Задача реконфигурации в общем виде заключается в перераспределении тех подзадач, которые должны были решаться на вышедших из строя узлах, на функционирующие ВУ при условии, что ЗУ будет решена в ранее установленные сроки. Последнее условие особенно актуально для РИУС, разрабатываемых для авиации, поскольку решение ЗУ полученное бортовой ИУС позже оговоренного момента времени, может оказаться бесполезным. С другой стороны, задача реконфигурации относится к классу *NP*-полных, что само по себе делает весьма затруднительным ее решение в сжатые сроки.

Проблемы планирования выполнения работ и составление расписаний широко и неоднократно освещались в работах российских и зарубежных ученых, начиная с 60-х. Тем не менее, необходимо отметить работы А.Б. Барского, сформулировавшего задачу формирования комплектации неоднородной вычислительной системы минимальной стоимости и предложившего аналитический метод ее решения, состоящий в комбинировании метода «ветвей и границ» с полным перебором возможных вариантов решения в пределах выделенных «ветвей» [1].

В качестве модели задачи реконфигурации примем следующую, допускающая идеальность КС:

1. Информационный граф без циклов, описывающий задачу управления и разбитый на подзадачи, которые требуется распределить по ПУ:

$$G=(H,X,W), \quad (1)$$

где:  $H=\{j\}=\{1, \dots, n\}$  — вершины графа,  
 $X=\{x_j\}$  — предварительно оцененные трудоемкости задач,  
 $W$  — множество дуг, определяющих связи между задачами по информации, каждая из которых взвешена значением  $w_{kl}$ , которое определяет объем передаваемых данных между  $k$ -ой и  $l$ -ой задачами.

2. Неоднородное множество ПУ  $M=\{m_i\}, i=1, \dots, k$ ,

$$m_i=\langle i, prod_i, v_i, s_i \rangle, \quad (2)$$

где:  $i$  — порядковый номер ПУ,  
 $prod_i$  — производительность ПУ,  
 $s_i$  — стоимость ПУ;  
 $v_i$  — скорость передачи результата вычислений (решения задачи) в коммутационную среду (КС), которая считается полносвязной.

3. Резервное множество ПУ  $M_{avail}$ , где каждое  $m_k$  описывается кортежем (2).

4. Максимально допустимое время решения задачи  $T_{plan}$ .

5. Также обозначим фактическое время решения задачи, описанной информационным графом  $G$  через  $T_c$ .

Оценка равномерности распределения нагрузки, необходимость которой отмечена в [4], вычисляется следующим образом:

- определяется идеальная нагрузка на ПУ путем деления суммы трудоемкостей подзадач на количество ПУ;
- после построения расписания выполнения подзадач каждому ПУ назначено некоторое их подмножество. Трудоемкости подмножества закрепленных за ПУ задач суммируются;
- производится их сравнение с идеальной загрузкой ПУ, вычисленной ранее.

Формально оценку равномерности распределения нагрузки на ПУ опишем следующими формулами (3,4,5):

$$b = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{m}, \quad (3)$$

где:  $b$  — идеальная в аспекте равномерности распределения нагрузка на ПУ;

$x_j$  — трудоемкость  $j$ -й подзадачи;

$n$  — количество подзадач,

$m$  — количество процессорных устройств.

$$b_i = \sum_{j=1}^k x_j, \quad (4)$$

где:  $b_i$  — фактическая нагрузка на ПУ, определяемая суммированием назначенных ему на решение подзадач.

Выражение (5) определяет оценку равномерности распределения нагрузки на ПУ и в идеальном случае равна 1.

$$B = \frac{b_i}{b} \quad (5)$$

Учитывая, что на практике получение  $B=1$  представляется маловероятным, имеет смысл ввести величину, определяющую допустимое отклонение по распределению нагрузки, например,  $1 - \xi \leq B \leq 1 + \xi$ .

Таким образом, формально задача может быть представлена в следующем виде:

среди множества вариантов комплектаций системы ПУ  $K=\{k_1, \dots, k_q\}$  с соответствующими стоимостями комплектации  $S=\{s_1, \dots, s_q\}$  с исходными данными, перечисленными в п.п. 1—5 необходимо найти  $S = \underset{K}{MIN}\{S_1, \dots, S_q\}$  и план распределения задач по

ПУ при выполнении следующих условий:

$$\bullet T_c \leq T^{plan}; \quad (6)$$

$$\bullet 1 - \xi \leq B \leq 1 + \xi \quad (7)$$

$$\bullet M \subseteq M \cup M_{avail}. \quad (8)$$

Метод решения задачи о нахождении комплектации неоднородной ВС минимальной стоимости, предложенный А.Б. Барским, позволяет получить точное решение, но при этом автор делает оговорку, что решение задачи может занимать длительное время [1]. Вполне очевидно, что по этой причине для процесса реконфигурации подобный метод решения неприменим.

Помимо точных методов решения подобных задач комбинаторной оптимизации в настоящее время часто используются численные методы, такие, как алгоритмы имитации отжига и генетические алгоритмы, основным достоинством которых считается возможность получения оптимального решения (или субоптимального) за приемлемое время, а среди общих недостатков выделяют зависимость скорости получения решения от настройки параметров.

Однако, говоря о РИУС как о системе равноправных ВУ, находящихся под управлением локальных диспетчеров, необходимо отметить следующее: метод получения конфигурации РИУС должен быть ориентирован на его параллельное выполнение равноправными ВУ, что делает актуальной адаптацию известных методов решения задачи получения конфигурации РИУС к условиям параллельного выполнения с акцентом на сокращении времени получения решения.

Метод имитации отжига является в общем случае итерационным и последовательным, что в некотором смысле затрудняет его распараллеливание. Тем не менее, были разработаны и используются следующие способы организации параллельного поиска решений [5, 6].

1. Параллельный запуск алгоритма имитации отжига;
2. Параллельный запуск алгоритма имитации отжига с обменом результатами;
3. Разбиение пространства решений на области.

Первый способ — параллельный запуск алгоритма имитации отжига — предполагает вычисление глобального минимума целевой функции одновременно на нескольких ВУ с последующим выбором лучшего решения управляющим узлом.

Второй способ — параллельный запуск алгоритма с обменом результатами — предполагает по истечении определенного количества итераций обмен между ВУ и выбор лучшего результата для продолжения вычислений.

Третий способ — разбиение пространства решений на области — предполагает запуск последовательного алгоритма имитации отжига в каждой из выделенных областей решений с выбором наилучшего решения по окончании вычислений.

Рассмотрим один из возможных вариантов адаптации алгоритма для реконфигурирования РИУС, ориентированная на выполнение системой равноправных ВУ.

Схема метода имитации отжига задается следующими параметрами [5]:

- выбором шага изменения температуры  $T(k)$  где  $k$  — номер шага;
- выбором порождающего семейства распределений  $F(x, T)$ , где  $x$  — вектор решения,  $T$  — температура системы;
- выбором функции вероятности принятия нового состояния  $h(\Delta E, T)$ , где  $\Delta E$  — изменение энергии системы,  $T$  — температура.

Так как при восстановлении системы после сбоя критичным становится время, затраченное на решение самой задачи реконфигурирования, в качестве закона изменения температуры целесообразно выбрать схему, предложенную Цу и Хартли [5]:

$$T(k) = \frac{T_0}{k}, \quad (9)$$

где:  $k$  — номер шага,

$T_0$  — начальная температура.

В качестве закона выбора нового решения примем следующий: каждый ВУ считает себя приоритетным при распределении подзадач с нефункционирующего ВУ, т. е. пытается в первую очередь «забрать» освободившиеся подзадачи себе на выполнение. Для распределения прочих задач можно воспользоваться правилом «каждый ВУ получает на выполнение ту задачу, которую он выполнит быстрее». Приведенное правило диспетчирования используется в алгоритме диспетчеризации для неоднородной ВС в работе [1] и гарантирует минимизацию времени выполнения графа подзадач. «Свободные» задачи, которые должны быть решены, каждый ВУ организует в последовательный список и перебирает возможные комбинации.

В качестве  $h(\Delta E, T)$  используем следующее:

$$h(\Delta E, T) = \exp(-\Delta E / T).$$

Таким образом, алгоритм формирования конфигурации РИУС минимальной стоимости после сбоя будет иметь следующий вид.

1. ВУ формирует список подзадач, требующих распределения, случайным образом выбирается начальный вариант распределения. Производится вычисление целевой функции (в данном случае — стоимость комплектации ВУ для полученного распределения).

2. Произвести сравнение энергии системы  $E$  в состоянии  $x$  с рассчитанным глобальным минимумом. Если значение целевой

функции меньше, то изменить значение текущего глобального минимума.

3. Выбирая подзадачи из сформированного списка, сформировать новое распределение задач.

4. Вычислить значение целевой функции. Если полученное значение времени удовлетворяет ограничению (6), то проверить ограничения (7,8). Если все ограничения удовлетворены, то считаем решение найденным, перейти к п. 5. В противном случае: вычислить вероятность перехода системы в новое состояние. В зависимости от результата, перейти на новую итерацию (п. 2), либо к п. 3.

5. Выставить полученное решение в коммутационную среду, разослать сообщение об окончании вычислений.

6. Если получено сообщение об окончании вычислений, выставить в коммутационную среду значение текущего глобального минимума.

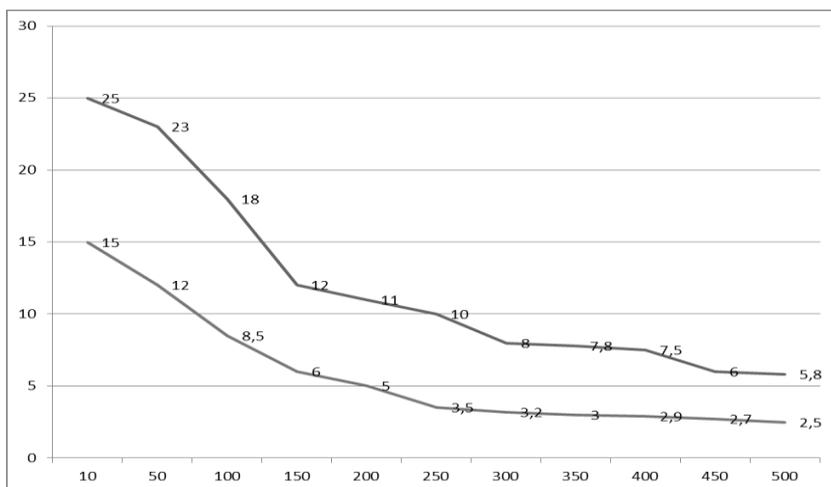
7. Выбрать посредством общего голосования из представленных в КС вариантов решений лучшее, принять его для выполнения.

Приведенный пример адаптированного алгоритма имитации отжига обладает следующими особенностями: во-первых, так как критично время нахождения удовлетворительного решения, речь идет не о поиске глобального минимума, а о нахождении первого подходящего решения. Как только ВУ находит такое решение, в КС выставляется сигнал о прекращении вычислений. Прочие ВУ также выставляют полученные на текущий момент решения, из них совместно выбирается лучшее по значению целевой функции.

Реализация приведенного адаптированного алгоритма в виде программной модели позволяет сделать некоторые предварительные выводы о перспективности его использования. При исходном размере произвольного графа задачи управления в 7000 подзадач равной трудоемкости, при увеличении числа ВУ в программной модели происходит сокращение времени (в условных единицах времени моделирования) поиска подходящих решений, качество которых удовлетворяет установленным ограничениям, как показано на рис. 4. На графике красным цветом показаны результаты работы параллельного поиска решения без останова по достижению удовлетворительного результата одним из ВУ, синим цветом выделены результаты работы описанного в статье алгоритма.

Результат работы алгоритма в смысле тенденции уменьшения времени поиска решения является ожидаемым, поскольку с увеличением количества попыток поиска оптимального решения в условиях распараллеливания алгоритма по ВУ при генерации

различных начальных точек повышается вероятность более «быстрого» обнаружения решения. Аналогично ожидаемым является сокращение времени поиска по сравнению с параллельным запуском алгоритма имитации отжига без участия ВУ в выборе момента останова. При этом, очевидно, качество найденного решения может быть хуже, но в условиях принятых допущений о том, что нас устроит любое как можно скорее найденное решение, ухудшение качества решения допустимо. При дальнейшем увеличении количества ВУ на времени выполнения алгоритма начинают сказываться накладные расходы на коммуникацию между ВУ и на сравнение выставленных в КС результатов вычислений.



**Рисунок 4. Результаты программного моделирования работы алгоритма**

### Список литературы:

1. Барский А.Б. Параллельные процессы в вычислительных системах: планирование и организация. — М.: Радио и связь, 1990.
2. Дьячков В.А., Захаров В.Н., Козмидиади В.А., Кузьмин А.В., Шулятников Д.С. Алгоритмы параллельного выполнения заданий сервисных приложений в распределенной среде. //Системы и средства информатики/Ин-т проблем информатики РАН. — М.: Наука, 2008. 321 с.

3. Захаров В.Н., Козмидади В.А., Кузьмин А.В., Попов А.С., Шулятников Д.С. Планирование выполнения зданий сервисных приложений в распределенной среде. //Системы и средства информатики/Ин-т проблем информатики РАН. — М.: Наука, 2008. 321 с.
4. Каляев И.А, Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2011. 196 с.
5. Лопатин А.С. Метод отжига // Стохастическая оптимизация в информатике. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. Вып. 1. С. 133—149.
6. Савин А.Н., Тимофеева Н.Е. Применение алгоритма оптимизации методов имитации отжига на системах параллельных и распределенных вычислений. //Известия саратовского университета. Т. 12. 2012.

## СЕКЦИЯ 3.

### ФИЗИКА

#### 3.1. ОПТИКА

#### **ФОРМИРОВАНИЕ ОТКЛИКОВ СТИМУЛИРОВАННОГО ФОТОННОГО ЭХА В ТРЕХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ ПРИ КОДИРОВКЕ ИНФОРМАЦИИ ВО ВРЕМЕННОЙ ФОРМЕ ОБЪЕКТНОГО ИМПУЛЬСА**

*Нефедьев Леонид Анатольевич*

*др физ.-мат. наук,  
зав. кафедрой образовательных технологий в физике,  
профессор Казанского Федерального университета  
г. Казань*

*E-mail: [nefediev@yandex.ru](mailto:nefediev@yandex.ru)*

*Гарнаева Гузель Ильдаровна*

*канд. физ.-мат. наук,  
зав.научно-педагогического отделения Института физики,  
доцент Казанского Федерального университета  
г. Казань*

*E-mail: [guzka-1@yandex.ru](mailto:guzka-1@yandex.ru)*

*Хакимзянова Эльза Ильдаровна*

*аспирант Казанского Федерального университета  
г. Казань*

*E-mail: [elzahakim@yandex.ru](mailto:elzahakim@yandex.ru)*

# THE FORMATION OF STIMULATED PHOTON ECHO RESPONSES IN THREE-LEVEL SYSTEM OF INFORMATION CODING IN TEMPORARY FORM OF OBJECT PULSE

*Nefediev Leonid*

*doctor of physical-mathematical sciences, the chief of education technologies in physics department, professor of Kazan Federal university, Kazan*

*Garnaeva Guzel*

*candidate of physical-mathematical sciences, the chief of scientific-pedagogical department of the Institute of physics, assistant professor of Kazan Federal university, Kazan*

*Hakimzyanova Elza*

*graduate student of Kazan Federal university, Kazan*

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрена воспроизводимость информации в откликах стимулированного фотонного эха в трехуровневой системе при наличии внешних пространственно неоднородных электрических полей. Найдено условие наилучшего воспроизведения информации и запираения сигналов стимулированного фотонного эха.

## ABSTRACT

The reproducibility of the information in the responses stimulated photon echo in a three-level system in the presence of external spatially inhomogeneous electric fields examined. The conditions of the best reproduction of the information and stimulated photon echo locking was found.

**Ключевые слова:** стимулированное фотонное эхо, эффект запираения, трехуровневые системы

**Keywords:** stimulated photon echo, the effect of locking, three-level system

Введение

Изучение переходных оптических процессов представляет интерес не только для фундаментальной науки, но имеет и прикладное

значение. Например, когерентные переходные процессы могут быть использованы для хранения и обработки информации [7, 8, 10]. Особый интерес представляет исследование взаимодействия нескольких резонансных полей с многоуровневыми квантовыми системами (атомами, молекулами, примесными ионами в кристаллах и др.). Этот интерес обусловлен возможными применениями различных эффектов, наблюдаемых при многочастотном возбуждении квантовых объектов. Запись и воспроизведение эхо-голограмм в многоуровневых системах приводит к возможности наряду с логическими операциями выполнять изменение шкалы реального времени и последовательности событий в отклике эхо-голограммы, информация о которых была заложена в пространственно-временную структуру объектного импульса [3, 4]. Если в качестве импульса-кода выступает или первый, или второй возбуждающий лазерный импульс, то информация может вноситься во временную форму этого импульса, и воспроизводиться в отклике СФЭ. Этот эффект получил название эффекта корреляции временной формы фотонного эха (ФЭ) [2].

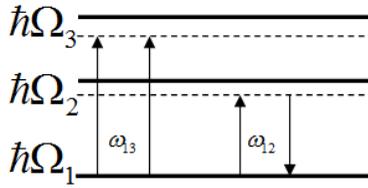
В работах [3, 6] был рассмотрен эффект запираия информации в откликах стимулированного фотонного эха (СФЭ) и его применение в системах оптической памяти, эхо процессорах и многоканальной записи информации при воздействии внешних пространственно неоднородных электрических полей на резонансную систему атомов. В данной работе исследовано влияние внешних пространственно неоднородных электрических полей на воспроизводимость информации в откликах СФЭ (эффект корреляции временной формы ФЭ) в трехуровневой системе и на эффективность ее запираия.

### **Основные уравнения**

Для отыскания оператора эволюции системы при ее возбуждении резонансным лазерным импульсом длительностью  $\Delta t_\eta$  используем результаты работы [8]. Зная оператор эволюции  $U$  можно определить матрицу плотности после воздействия  $\eta$ -го лазерного импульса

$$\rho(t_\eta + \Delta t_\eta) = U(\Delta t_\eta) \rho(t_\eta) U^\dagger(\Delta t_\eta). \quad (1)$$

Рассмотрим схему возбуждения стимулированного фотонного эха в трехуровневой системе по V-схеме приведенной на рисунке 1, где объектным является первый импульс.



**Рисунок 1. Спектр возбуждения СФЭ в трехуровневой системе**

В рассматриваемом случае гамильтониан системы можно представить в виде:  $\tilde{H}_0 = \hbar\Delta_{12} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \Gamma \end{pmatrix}$ , где  $\Gamma = \frac{\Omega_{13}}{\Omega_{12}}$  — параметр неэквидистантности спектра системы,  $\Omega_{ij}$  — частота перехода  $i$ - $j$ ,  $\Delta_{12} = \Omega_{12} - \omega_{12}$ ,  $\omega_{12}$  — частота лазерного излучения резонансного перехода 1—2.

Напряженность электрического поля отклика найдем как

$$\vec{E}(\vec{r}, t') = \frac{1}{\hbar^3 c^2 R_0} \sum_j \int \langle \vec{d}_j \rangle \times \vec{n} \times \vec{n} g(\Delta_{12}) d\Delta_{12}, \quad (2)$$

где:  $\vec{n}$  — единичный вектор в направлении наблюдения,  
 $g(\Delta_{12})$  — функция распределения частот неоднородно уширенной линии,  $t' = t - \frac{\vec{R}_0 \vec{n}}{c} + \frac{\vec{r}_j \vec{n}}{c}$ ,

$\vec{R}_0$  — радиус-вектор точки наблюдения,

$\vec{r}_j$  — радиус-вектор местоположения  $j$ -го оптического центра,

$$\langle \vec{d}_j(t') \rangle = Sp(\rho \vec{d}_j(t')) = \vec{d}_{21} \rho_{12}^{(3)} + \vec{d}_{31} \rho_{13}^{(3)} + \vec{d}_{32} \rho_{23}^{(3)} + \text{к.с.}$$

Воздействие внешних пространственно неоднородных электрических полей на резонансную систему атомов может влиять на воспроизводимость информации в откликах СФЭ. Процесс формирования откликов фотонного эха содержит два необходимых этапа: расфазирование осциллирующих дипольных моментов оптических центров и последующее их сфазирование, которое

приводит к возникновению макроскопической поляризации среды и регистрируется в виде оптического когерентного отклика. Воздействие на резонансную среду на одном из этих этапов пространственно-неоднородного внешнего возмущения (например, неоднородного электрического поля) приведет к случайному сдвигу или расщеплению исходных монохромат неоднородно уширенной оптической линии. В результате дипольные моменты не будут сфазироваться после считывающего импульса, генерация оптического когерентного отклика будет подавляться.

Следуя работам [1, 5, 6, 9] будем считать, что воздействие неоднородных электрических полей приводит к дополнительным частотным сдвигам:  $f_{mn}(\Delta\tau_{mn}, \vec{r}) = C_{ШТ}(\vec{\nabla}E(\Delta\tau_{mn}, \vec{r})\vec{r})$ , где  $C_{ШТ}$  — постоянная эффекта Штарка.

В этом случае пространственно-временная структура отклика СФЭ определится выражением

$$E \approx \int_V \int_{-\infty}^{+\infty} g(\Delta_{12}) d\Delta_{12} \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 \tilde{S}^{(1)*}(\Gamma\Delta_{12}) \times \\ \times \tilde{S}^{(2)}(\Gamma\Delta_{12}) \tilde{S}^{(3)}(\Delta_{12}) \exp \left\{ i\Gamma(\Delta_{12} + f_{13}) \left[ (t - \tau_{12} - \tau_{23}) - \frac{(\Delta_{12} + f_{12})\tau_{12}}{\Gamma(\Delta_{12} + f_{13})} \right] \right\} dV \quad (3)$$

где:  $\Delta\tau_{12}$  — время воздействия неоднородного электрического поля между первым и вторым возбуждающим импульсом,

$\Delta\tau_{23}$  — время воздействия неоднородного электрического поля после третьего импульса,

$\tilde{S}^{(\eta)}(\Delta)$  — Фурье спектр огибающей  $\eta$ -го лазерного импульса,

$\theta_\eta$  — площадь  $\eta$ -го импульса .

### **Эффект корреляции временной формы объектного импульса и отклика системы при различной кодировки информации**

Рассмотрим два случая формирования откликов СФЭ в трехуровневой системе при двухчастотном возбуждении на переходе 1—2: 1. когда информация кодируется во временной форме объектного лазерного импульса, 2. когда информация кодируется во временных интервалах эшелона лазерных импульсов представляющих объектный импульс. В обоих случаях может наблюдаться эффект корреляции временных форм объектного импульса и отклика фотонного эха [2].

Однако при наличии внешних пространственно неоднородных электрических полей (накладываемых в целях записи информации [5] и многоканальной записи информации [6]) может происходить искажение записанной информации в отклике фотонного эха.

Так, если объектным является первый импульс в случае первой кодировки (рис. 2), результаты численного расчета выражения (3) приведены на рис. 3—6.

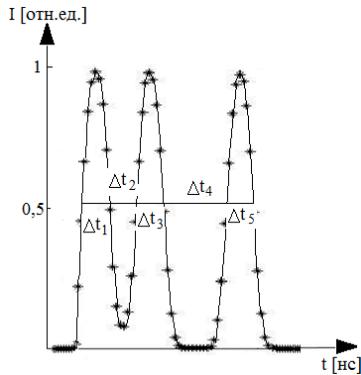


Рисунок 2. Временная форма входного (объектного) импульса

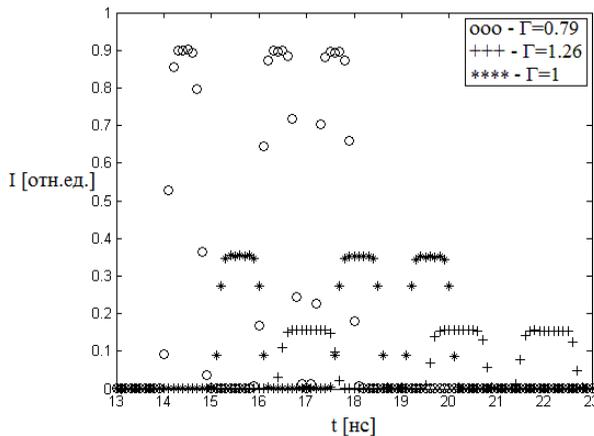
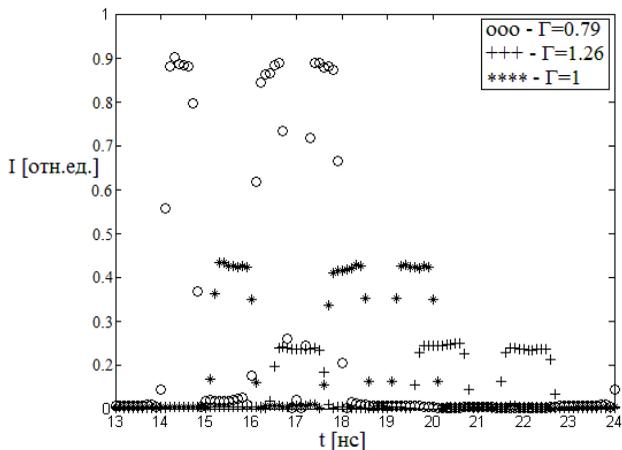
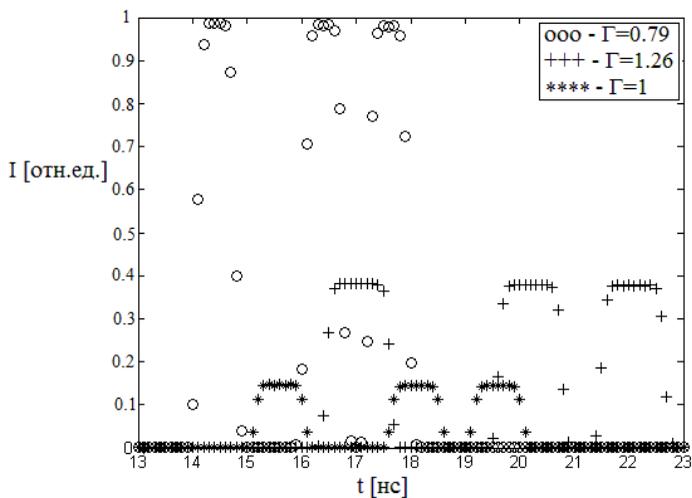


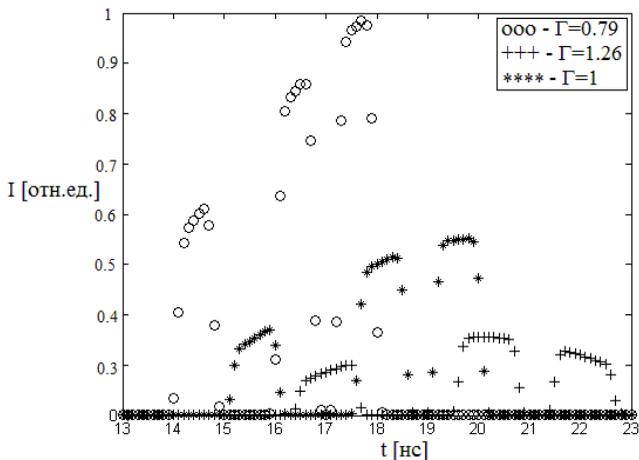
Рисунок 3. Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.01\pi$ ,  $\Delta t_1 = 1$  нс,  $\Delta t_2 = 0,5$  нс,  $\Delta t_3 = 1$  нс,  $\Delta t_4 = 1,5$  нс,  $\Delta t_5 = 1$  нс,  $|\vec{\nabla}E_1| = |\vec{\nabla}E_2| = 0$ )



**Рисунок 4. Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.52\pi$ ,  $\Delta t_1 = 1$  нс,  $\Delta t_2 = 0,5$  нс,  $\Delta t_3 = 1$  нс,  $\Delta t_4 = 1,5$  нс,  $\Delta t_5 = 1$  нс,  $|\vec{V}E_1| = |\vec{V}E_2| = 0$ )**

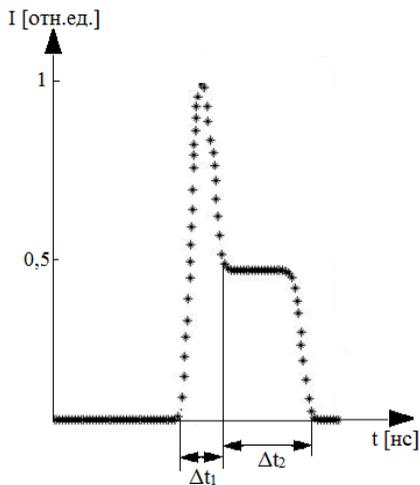


**Рисунок 5. Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.01\pi$ ,  $\Delta t_1 = 1$  нс,  $\Delta t_2 = 0,5$  нс,  $\Delta t_3 = 1$  нс,  $\Delta t_4 = 1,5$  нс,  $\Delta t_5 = 1$  нс,  $|\vec{V}E_1| = 100$  В/см<sup>2</sup>,  $|\vec{V}E_2| = 0$ )**

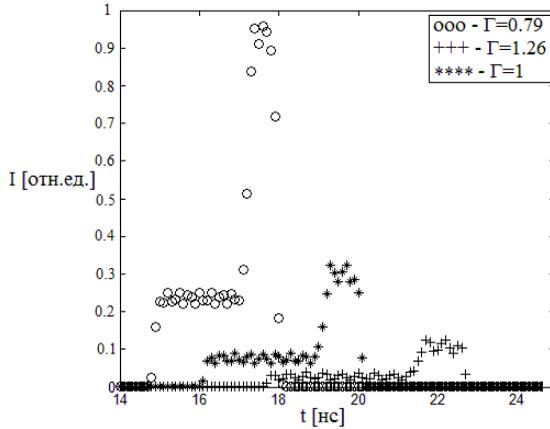


**Рисунок 6. Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.01\pi$ ,  $\Delta t_1 = 1$  нс,  $\Delta t_2 = 0,5$  нс,  $\Delta t_3 = 1$  нс,  $\Delta t_4 = 1,5$  нс,  $\Delta t_5 = 1$  нс,  $|\vec{\nabla}E_1| = 0$ ,  $|\vec{\nabla}E_2| = 100$  В/см<sup>2</sup>)**

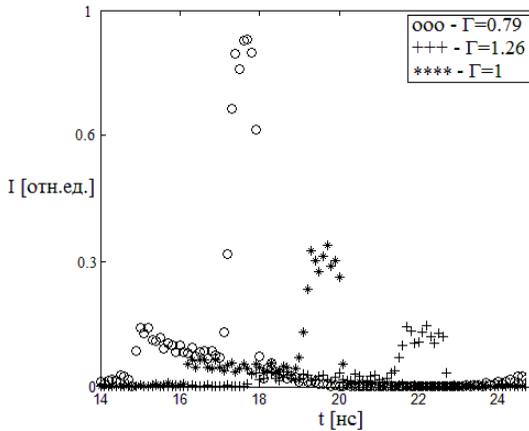
Если объектным является первый импульс с кодировкой информации второго вида (рис. 7), результаты численного расчета выражения (3) приведены на рис. 8—11.



**Рисунок 7. Временная форма входного (объектного) импульса**



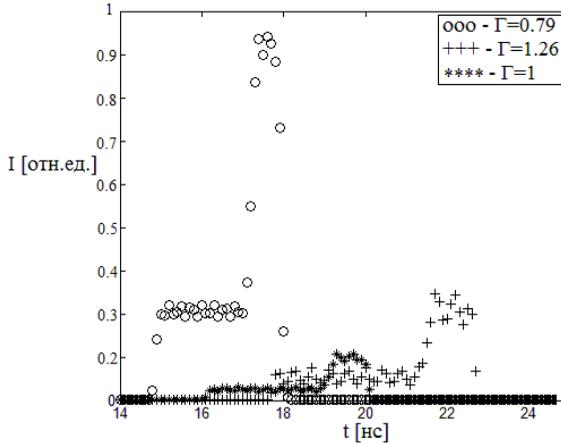
**Рисунок 8. Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.01\pi$ ,  $\Delta t_1=1$  нс,  $\Delta t_2=3$  нс,  $|\vec{\nabla}E_1| = |\vec{\nabla}E_2| = 0$ )**



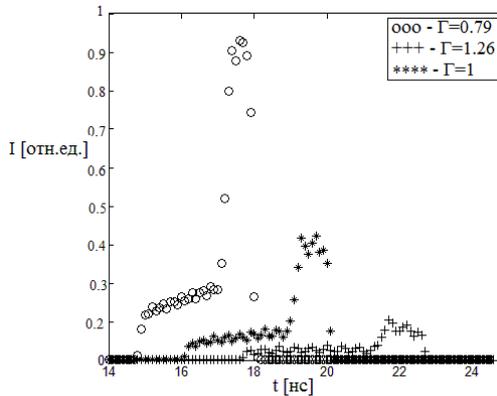
**Рисунок 9. Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.52\pi$ ,  $\Delta t_1=1$  нс,  $\Delta t_2=3$  нс,  $|\vec{\nabla}E_1| = |\vec{\nabla}E_2| = 0$ )**

Из рисунков 3, 4, 7 и 8 следует, что при отсутствии внешних пространственно неоднородных полей наблюдается воспроизведение формы первого объектного импульса в отклике СФЭ в обращенном режиме практически без искажений.

При воздействии внешнего пространственно неоднородного поля между первым (объектным) и вторым импульсами (рис. 5, 10) временная форма отклика коррелирует с временной формой объектного импульса и одновременно происходит уменьшение его интенсивности (эффект записания информации).



**Рисунок 10.** Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.01\pi$ ,  $\Delta t_1 = 1$  нс,  $\Delta t_2 = 3$  нс,  $|\vec{\nabla}E_1| = 100$  В/см<sup>2</sup>,  $|\vec{\nabla}E_2| = 0$ )



**Рисунок 11.** Временная форма отклика СФЭ ( $\theta_1 = 0.01\pi$ ,  $\Delta t_1 = 1$  нс,  $\Delta t_2 = 3$  нс,  $|\vec{\nabla}E_1| = 0$ ,  $|\vec{\nabla}E_2| = 100$  В/см<sup>2</sup>)

Если внешнее пространственно неоднородное поле накладывается после третьего (считывающего) импульса (рис. 6, 11), наряду с запиранием отклика наблюдается искажение временной формы отклика.

Из рисунков 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 видно, что при увеличении параметра неэквидистантности системы  $\Gamma > 1$  наблюдается растягивание шкалы реального времени в отклике СФЭ, а при уменьшении параметра неэквидистантности системы  $\Gamma < 1$  наблюдается сжатие шкалы реального времени.

Увеличение площади объектного импульса приводит к искажению воспроизведения информации.

### **Выводы**

1. В случае воздействия после первого объектного импульса неоднородного электрического поля наблюдается эффект запирания информации, а в случае воздействия неоднородного электрического поля после считывающего импульса — наблюдается разрушение информации.

2. В резонансных системах с большим параметром неэквидистантности системы наблюдается растягивание шкалы реального времени в отклике СФЭ, а в системах с меньшим параметром неэквидистантности системы наблюдается сжатие шкалы реального времени.

3. Увеличение площади объектного импульса приводит к искажению воспроизведения информации

### **Список литературы:**

1. Биленький С.М. Введение в диаграммную технику Фейнмана. Москва. Атомиздат. 1971. — 215 С.
2. Зуйков В.А., Самарцев В.В., Усманов Р.Г. Корреляция формы сигналов светового эха с формой возбуждающих импульсов // Письма в ЖЭТФ. 1980, Т. 32, № 4. С. 293—297.
3. Нефедьев Л.А. Пространственно-временные преобразования эхо-голограмм в двух и трехуровневых системах // Оптика и спектроскопия. 1986. Т. 61. № 2. С. 387—394.
4. Нефедьев Л.А. Динамическая эхо-голография в вырожденных и многоуровневых системах // Известия АН СССР, серия физическая. 1986. Т. 50. № 8. С. 1551—1558.
5. Нефедьев Л.А., Гарнаева (Хакимзянова) Г.И. Эффект «запирания» сигналов фотонного эха при многоканальной записи информации // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 105. № 6. С. 1007—1012.

6. Нефедьев Л.А., Гарнаева Г.И., Усманов Р.Г. Многоканальная запись информации на основе эффекта «запирания» сигналов фотонного эха // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 2. С. 27—29.
7. Нефедьев Л.А., Низамова Э.И., Тактаева С.В. Влияние некоррелированности неоднородного уширения на формирование переходных оптических процессов в многоуровневых системах// Оптика и спектроскопия, Т. 113, № 2, 2012. С. 156—161.
8. Раутиан С.Г., Смирнов Г.И., Шалагин А.М. Нелинейные резонансы в спектрах атомов и молекул. Новосибирск: Наука. 1979. — 310 С.
9. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: Наука. (1977), — 319 С.
10. Kalachev A.A., Samartsev V.V. Coherent phenomena in Optics. Kazan State University, 2003. — P. 280.

## СЕКЦИЯ 4.

### БИОЛОГИЯ

#### 4.1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

#### ФИТОРЕГУЛЯТОРЫ КАК ОСНОВА ЭКОЛОГИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

***Уромова Ирина Павловна***

*д-р сельскохозяйственных наук, доцент,  
Нижегородский государственный педагогический университет  
им. К. Минина,  
г. Нижний Новгород  
E-mail: [uromova2012@yandex.ru](mailto:uromova2012@yandex.ru)*

***Штырлина Ольга Вениаминовна***

*канд. биологических наук, доцент,  
Нижегородский государственный педагогический университет  
им. К. Минина,  
г. Нижний Новгород  
E-mail: [botanik.nnspu@yandex.ru](mailto:botanik.nnspu@yandex.ru)*

***Штырлин Дмитрий Александрович***

*магистр естественнонаучного образования,  
Нижегородский государственный педагогический университет  
им. К. Минина,  
г. Нижний Новгород  
E-mail: [nniosrd@yandex.ru](mailto:nniosrd@yandex.ru)*

# FITOREGULATORY AS A BASE OF ECOLOGIZATION OF MODERN AGRICULTURAL PRODUCTION

*Uromova Iryna*

*doctor of agricultural sciences, assistant professor,  
Nizhny Novgorod State Pedagogical University K. Minina,  
Nizhny Novgorod*

*Shtyrlina Olga*

*candidate of biological sciences, assistant professor,  
Nizhny Novgorod State Pedagogical University K. Minina,  
Nizhny Novgorod*

*Shtyrlin Dmitry*

*master of science education,  
Nizhny Novgorod State Pedagogical University K. Minina,  
Nizhny Novgorod*

## АННОТАЦИЯ

Испытан в полевых условиях препарат Эпин. Полученные результаты позволяют считать перспективным применение Эпина для предпосадочной обработки пророщенных клубней и для опрыскивания во время вегетации с целью улучшения условий роста и развития растений картофеля.

## ABSTRACT

The drug is tested in field conditions Aepinus (Epinus). The results obtained suggest a promising application of Aepinus (Epin) pre-plant couched tubers and for spraying during the growing season to improve the growth and development of potato plants.

**Ключевые слова:** фиторегуляторы; фотосинтез; листовая поверхность; урожай; крахмал; Эпин; brassinостероиды.

**Keywords:** phyto regulators; photosynthesis; leaf surface; harvest; starch; Aepinus (Epin); brassinosteroid.

Существующие экологические проблемы, связанные с сельскохозяйственным производством привели к поиску новых методов его ведения. Важным элементом современных технологий выращивания сельскохозяйственных культур является применение биологически активных, экологически безопасных

ростостимулирующих препаратов. К числу перспективных препаратов, стимулирующих жизнедеятельность растений, относятся регуляторы роста, среди которых все большее внимание привлекают соединения класса brassиностероидов — фитогормонов природного происхождения. Известно, что brassиностероиды — обладают высокой биологической активностью, экологически безопасны, что позволяет широко применять их в растениеводстве [1]. Brassиностероиды способствуют гармоничному росту и развитию растений на всех стадиях онтогенеза, повышая их устойчивость к вредителям и болезням, увеличивая продуктивность и качество урожая [2]. Целью нашего исследования является изучение действия биопрепарата «Эпин» на рост и развитие растений картофеля раннего сорта Удача.

Экспериментальная работа проводилась в совхозе «Линдовский» Борского района Нижегородской области в 2000—2005 гг. Опыты закладывали в 4<sup>х</sup> кратной повторности, общая площадь делянки 72 м<sup>2</sup>, учетная площадь — 36 м<sup>2</sup>, площадь питания 90х30 см. Перед посадкой пророщенные клубни обрабатывались препаратом «Эпин». В течение вегетации проводили опрыскивание надземной части растений. Концентрация препарата соответствовала инструкции по применению. В течение вегетации фиксировали наступление фенологических фаз развития растений, учитывали биометрические показатели, определяли урожай, ассимиляционную поверхность листьев, интенсивность фотосинтеза, распространенность и развитие фитофтороза.

Анализ фенологических наблюдений показал, что при одних и тех же агрометеорологических условиях (температура, осадки, крупность семенного материала, подготовка почвы) всходы на варианте с обработкой биопрепаратом «Эпин» появились на 2 дня раньше, чем на контроле. Растения отличались более интенсивным развитием, что особенно важно в начале их роста.

Исследования показали, что предпосадочная обработка клубней препаратом «Эпин» оказала определенное воздействие на рост и продуктивность картофеля. Высота растений в фазу цветения на варианте с обработкой биопрепаратом превышала контроль на 3,9 %. Количество стеблей на куст было также больше на варианте с обработкой препаратом на 5,2 % по сравнению с контролем.

Важным показателем урожайности картофеля является процесс формирования ассимиляционного аппарата у растений. В начале вегетации величина площади ассимиляционной поверхности листьев на всех вариантах опыта слабо различались между собой, но затем, в фазу цветения и перед уборкой, площадь листьев на опытном

варианте превышала значение этого показателя на контроле, где ботва отмирала раньше (на 5,9 %).

Интенсивность фотосинтеза заметно увеличивалась по всем фазам развития растений. Максимальной была в фазу цветения на опытном варианте, но перед уборкой интенсивность фотосинтеза уменьшается на варианте с обработкой препаратом «Эпин» — в 1,9 раза, на контроле в 1,6 раза по сравнению с теми же вариантами в фазу цветения. Но при этом усиливается отток ассимилятов в клубни картофеля, о чем свидетельствуют данные по крахмалу (11,2 % — контроль и 12,8 % — опыт).

Таким образом, содержание крахмала в клубнях урожая оказалось выше на варианте с обработкой препаратом, что и является подтверждением усиления оттока ассимилятов. Следовательно, изменения физиологических процессов в растениях картофеля под влиянием биопрепарата «Эпин» обеспечивают увеличение ассимиляционной поверхности растений и тем самым способствуют активизации процессов фотосинтеза и оттока пластических веществ из листьев, что в конечном итоге положительно влияет на повышение урожайности картофеля.

Наблюдения за появлением фитофтороза на ботве показывают, что поражение картофеля болезнью на вариантах опыта и контроля различно. Распространение болезни на растениях при обработке их биопрепаратом происходило в 2,0 раза медленнее по сравнению с контролем.

Также отмечается снижение развития болезни на растениях обработанных препаратом в 3,6 раза по сравнению с контролем, что можно объяснить защитным действием этого биопрепарата.

Наиболее эффективной является обработка пророщенных клубней водным раствором «Эпина». Прибавка урожая на этом варианте по отношению к контролю составила 22,4 %, так как препарат стимулировал формирование мощной корневой системы и стеблей, что в конечном итоге и привело к большему урожаю по сравнению с контролем.

Полученные нами данные можно объяснить тем, что препарат «Эпин» — это высокоэффективное росторегулирующее вещество. Эта препаративная форма brassinosteroidов зарекомендовала себя как стимулятор антистрессового действия, который обладает сильной ростостимулирующей активностью, что способствует увеличению урожая и повышению его качества. Росторегулирующие свойства препарата помимо увеличения урожайности, косвенно способствуют борьбе с патогенами, повышая иммунитет растения, и более сильное

растение, начиная с раннего периода своего произрастания, более устойчиво к патогенам и неблагоприятным условиям среды.

Таким образом, биопрепарат «Эпин» можно считать индуктором болезнеустойчивости растений. Это позволяет с уверенностью сказать, что данный биопрепарат имеет существенные преимущества по сравнению с химическими препаратами. Следовательно, в современных условиях производства картофеля, наряду с известными приемами выращивания культуры, применение биопрепарата является перспективным направлением и заслуживающим внимания агротехническим приемом, позволяющим стимулировать рост и развитие растений, приводящим к повышению продуктивности картофеля при незначительных затратах труда и средств.

### **Список литературы:**

1. Бобрик А.О. Эффективность производства семенного картофеля при использовании brassinosteroidов / А.О. Бобрик // Новое в семеноводстве картофеля: мат. научн. -практ. конф. (Минск, 28—30 июня 2000). — Минск. — 2000. — С. 58—59.
2. Персикова Т.Ф. Природный фитогормон гомобрассинолоид – важный резерв повышения урожайности и качества льна-долгунца / Т.Ф. Персикова, А.А. Ходянков // Агротехнический вестник. — № 1. — 2008. — С. 19—21.

## 4.2. ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

### РАСТЕНИЯ И ДЕФИЦИТ ВЛАГИ В ПОЧВЕ

**Любимов Валерий Борисович**

*профессор, д-р биол. наук,  
зав. кафедрой экологии и рационального природопользования  
ФГБОУВПО «Брянский государственный университет  
имени академика И.Г. Петровского»,  
г. Брянск  
E-mail: [lubimov-v@mail.ru](mailto:lubimov-v@mail.ru)*

**Котова Наталья Петровна**

*канд. биол. наук, учитель средней общеобразовательной школы № 1,  
Саратовская область, г. Аркадак*

### PLANTS AND SOIL MOISTURE DEFICIT

**Lyubimov Valery**

*professor, doctor of biological Sciences, head. the Department of ecology  
and rational nature management FSEI HPE  
«Bryansk state University named after academician I.G. Petrovsky»,  
Bryansk*

**Kotova Natalia**

*candidate of biological sciences, the teacher of the secondary school № 1,  
Saratov region, Arkadak*

#### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследований по определению устойчивости растений к высоким температурам и дефициту влаги в почве, использованию эффективных технологий их размножения.

#### ABSTRACT

The article presents the results on determination of plant resistance to high temperatures and moisture deficit and the use of effective technologies of their reproduction.

**Ключевые слова:** интродукция; метод; растения; засуха; размножение.

**Keywords:** introduction; method; plants; drought; breeding.

При проектировании и создании насаждений различного целевого назначения в засушливых регионах важным этапом является теоретическое обоснование видового состава растений дифференцированно природным условиям и, прежде всего, гидротермическому режиму. Бедность флор аридных зон высокопродуктивными, декоративными видами древесных растений определяет актуальность их интродукции из других регионов. При попытке реализовать эту проблему одной из основных задач является поиск диагностических показателей определения перспективности вида, степени его устойчивости, соответствия природным условиям района исследований. На протяжении ряда десятилетий в качестве таких показателей предлагалось использование показателя интенсивности транспирации, стабильности оводненности листьев и побегов, водоудерживающей способности, жароустойчивости и других. Жароустойчивость оценивалась по определению летальной температуры листьев, выдерживаемых в водяной бане. Зимостойкость и морозоустойчивость определялась на основе изучения оводненности побегов в зимний период и путем визуальных наблюдений за состоянием перезимовавших растений. Исследования такого плана, без учета эволюции экосистем, биоценозов и фитоценозов, формирования экологического спектра вида, его биологической продуктивности, жизненной формы и ареала, не могли принести успех. Десятилетиями в процессе интродукции использовался, чаще всего, метод «проб и ошибок», характеризующийся чрезвычайной трудоёмкостью и малой эффективностью. В 1984 г. на Всесоюзном совещании «Актуальные задачи физиологии и биохимии растений в ботанических садах СССР» председатель Совета ботанических садов СССР Л.Н. Андреев отмечает, что усилия физиологов и биохимиков должны быть направлены на повышение эффективности интродукционных исследований. Из доклада Л.Н. Андреева следует сделать заключение, что практически до конца прошлого столетия не был разработан приемлемый для практики метод интродукции, не было найдено и универсального физиологического показателя, позволяющего оценить устойчивость и степень перспективности вида [1, с. 3—4]. Более критично на этой конференции прозвучало выступление А.М. Гродзинского, который говорил о том, что использование для характеристики интродуцентов,

так называемых «физиологических показателей», например, интенсивности фотосинтеза, активности отдельных ферментов и т. п., не приносит ничего нового в интродукцию [2, с. 49—50]. Исследования этого направления нами проводятся лабораторными и полевыми методами в условиях Северных и Южных пустынь (полуостров Мангышлак — Казахстан), в степном, лесостепном и лесном регионе (Саратовская, Липецкая и Брянская области). Методологической основой наших исследований является синтетическая теория эволюции и вытекающие из этой теории экологические законы, закономерности, правила и явления. Полученная в результате исследований информация по визуальным наблюдениям за состоянием, ростом и развитием интродуцентов анализируется на фоне погодных условий и динамики водно-солевого режима почв. основополагающими факторами, влияющими на эволюцию ландшафтов Земли, видовое разнообразие являются влага и тепло. Продуктивность любой экосистемы тем выше, чем благоприятнее гидротермический режим, под воздействием которого формируются и другие факторы: ветровой режим, морфологические, физические и химические свойства почв, их плодородие, степень засоленности и т. д. Безусловно, что основными, лимитирующими интродукцию растений факторами, является, прежде всего, дефицит влаги и величина радиационного баланса. При интродукции растений большое значение имеет изучение экологического спектра вида, который позволяет выявить лимитирующие интродукцию факторы и определить возможность нейтрализовать их отрицательное влияние на растения в районе исследований. Эти знания составляют основу для моделирования в районе интродукции условий, обеспечивающих оптимальный рост и развитие интродуцента. Безусловно, что в соответствии с экологическим законом о взаимодействии факторов, экстремальные температуры усиливают атмосферную и почвенную засуху в аридных районах, что может привести к обезвоживанию растений и их гибели. Здесь проявляется и влияние экологического закона о неоднозначности действия факторов на разные функции. Например, высокий рост температур вызывает снижение скорости фотосинтеза и увеличение интенсивности дыхания, что ведет к истощению организмов. Наши исследования показали, что растения, независимо от их флористической принадлежности и условий естественного обитания, имеют для листьев летальную температуру, заключенную в очень узких пределах. Листья всех включенных в эксперимент видов выдерживали температуру +47<sup>0</sup>С и погибали при температуре +50<sup>0</sup>С. Определить

разницу между видами, по степени их жароустойчивости, не представляется возможным. Например, в наших экспериментах, при температуре +49<sup>0</sup>С зарегистрирована гибель листьев у *Hippophae rhamnoides* L., *Tamarix ramosissima* Ldb., *Calligonum caput Medusae* Schrenk., *Maclura aurantiaca* Nutt., *Robinia pseudoacacia* L., *Lycium ruthenicum* Murr., а при температуре +50<sup>0</sup>С погибли листья *Quercus robur* L., *Q. rubra* L., *Symphoricarpos albus* (L.) Blake, *Acer semenovii* Regel. et Herd., *Crataegus transcaspica* Pojark., *Amorpha californica* Nutt., *Populus diversifolia* Schrenk, *Haloxylon aphyllum* (Minkw.) Jljn. и др. Как видим, некоторые виды пустынной флоры имеют летальную температуру для листьев + 49<sup>0</sup>С, другие +50<sup>0</sup>С. Аналогичный результат наблюдается и у представителей Северной Америки, Дальнего Востока, Сибири и Европы. Четко выраженной тенденции повышения летальной температуры листьев у видов, в зависимости от условий их естественного местообитания не зарегистрировано. Наблюдается отсутствие корреляционной связи изменения летальной температуры листьев в связи с приспособленностью вида к ариднему климату. Высокие температуры усиливают действие атмосферной и почвенной засух. Это способствует нарушению водного баланса у растений и нагреванию листьев до летальной температуры. Однако, следует отметить, что максимальные температуры воздуха, наблюдаемые даже в условиях пустынь, а также в Саратовской и Брянской области не являются прямым фактором, вызывающим гибель деревьев и кустарников. Дефицит воды в период вегетации и низкие зимние температуры является основными экологическими факторами, лимитирующими интродукцию древесных растений.

На основании изученности вопроса исследований и полученных собственных результатов следует сделать заключение о том, что к высоким температурам атмосферного воздуха и его сухости растения адаптировались в процессе эволюции не путем повышения жароустойчивости клеток и их органелл, а, прежде всего, путем обеспечения организма водой. Циркуляция воды (почва-растение-атмосфера) позволяет поддерживать температуру листьев, побегов, всего организма, близкую к температуре окружающей среды, благодаря водному балансу. Нарушение водного баланса, безусловно, ведет к нагреву растений до летального исхода, что необходимо учитывать при разработке агротехнических приемов выращивания растений. С целью оптимизации условий содержания растений в аридных регионах рекомендуем внедрение метода капельного орошения, контейнерного метода и посев семян в посевные чеки

с постоянным подпитывающим через дренаж увлажнением [3, с. 37—49; 4, с. 86—93; 5, с. 259—273].

### **Список литературы:**

1. Андреев Л.Н. Роль физиологических исследований в разработке проблемы интродукции растений // Актуальные задачи физиологии и биохимии растений в ботанических садах СССР. Пушино: АН СССР, 1984. — С. 3—4.
2. Гродзинский А.М. Уровни физиологических и биохимических исследований растений в ботанических садах / Актуальные задачи физиологии и биохимии растений в ботанических садах СССР. Пушино: АН СССР, 1984. — С. 49—50.
3. Зиновьев В.Г., Верейкина Н.Н., Харченко Н.Н., Любимов В.Б. Прогрессивные технологии размножения деревьев и кустарников. Белгород — Воронеж: БГУ, 2002. — 135 с.
4. Котова Н.П., Любимов В.Б. Гидротермический режим содержания интродуцентов. Брянск: РИО БГУ, 2012. — 140 с.
5. Любимов В.Б. Интродукция растений. Брянск: БГУ, 2009. — 364 с.

## ОЦЕНКА ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Пициль Андрей Орестович*

*ассистент кафедры «Экология леса и мелиорация»,  
Житомирский национальный агроэкологический университет,  
г. Житомир*

*E-mail: [Pitsil-uk@rambler.ru](mailto:Pitsil-uk@rambler.ru)*

## EVALUATION OF DIFFUSIVE POLLUTION OF WATER BODIES AT URBAN AREAS

*Pitsil Andrey*

*assistant of Forest ecology and reclamation chair  
of Zhytomyr National Agroecological University,  
Zhytomyr*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено влияние городских территорий на качество водных объектов (на примере г. Житомир, Украина). Указаны гидрохимические показатели поверхностного стока с различных функциональных селитебных зон. Составлена инвентаризация источников поступления загрязняющих веществ в составе ливневых вод с поверхности города, которая позволяет при отсутствии систематических наблюдений за сбросами дождевых вод установить основные источники поступления химических веществ с поверхностным стоком.

### ABSTRACT

In the article there is considered the influence of urban areas on the quality of water bodies (based on the example of Zhytomyr, Ukraine). There are given the hydrochemical indices of non-point run-off from different functional settlement zones. Source inventory of effluence comprised of runoff waters from city surface is compiled. It allows without routine monitoring of rainwater effluents implementing of new sources of chemicals' intake together with non-point run-off.

**Ключевые слова:** вода; дождевой сток; загрязнение.

**Key words:** water; rainwater run-off; pollution.

Загрязняющие вещества могут выноситься в водные объекты поверхностным и подповерхностным стоком с водосборных территорий, а это означает, что практическая любая деятельность человека на водосборе реки или озера создает предпосылки диффузного загрязнения соответствующего водного объекта [1, с. 7].

Как показал анализ доступной нам литературы [2, с. 352; 3, с. 230], по исследованию условий формирования и влияния диффузных источников загрязнения на экологическое состояние водных объектов написано большое количество работ, но эта проблема остается еще не решенной.

Одним из наиболее простых методов оценки величины нагрузки от неточечных источников на водный объект является метод постоянных концентраций. Метод основывается на предположении, что поступление веществ через замыкающий створ изучаемой водосборной территории можно охарактеризовать определенным значением концентрации загрязняющего вещества, которое практически не зависит от времени. Недостатком этого метода является, то что концентрации загрязняющих веществ в стоке сильно изменяются не только от одного дождя к другому, а даже в течении одного ливня, поэтому, следует понимать, что результаты будут весьма приближенными. Поэтому в данном исследовании применили метод, при котором количество загрязняющего вещества определяется количеством поллютанта, поступающего с единицы площади водосборного бассейна через его замыкающий створ в единицу времени. Ежегодная (ежемесячная) нагрузка рассчитывается умножением данного показателя на площадь водосборной территории.

Целью данной работы было исследовать экологию поверхностного стока различного происхождения с разных функциональных зон города с учетом особенностей его формирования и загрязнения, поступающего с населенных территорий, и выявить его влияние на загрязнение гидрографической сети.

Объектом исследования является процесс формирования поверхностного стока с урбанизированных территорий и вынос загрязнений.

В основу нашей работы положены экспериментальные исследования, поверхностного стока города Житомира (Украина). Химический анализ проб поверхностного стока осуществлялся в аккредитованной лаборатории Житомирской областной санитарно-эпидемиологической станции по стандартным методикам.

Для всех водосборов были рассчитаны: расходы воды, объемы стока за период действия временного потока, масса загрязняющего

вещества в теплый период года. Пробы поверхностного стока отбирались путем анализа дождевой воды в замыкающих створах. Отбор проб происходил порционно. Для получения подробной информации о составе поверхностного стока определялся анализ каждой отобранной пробы. Для дождевой воды интервал между отбором проб от начала дождя был равен 15—20 минут, а в последующий период 20—30 минут. Ориентировочные данные о составе дождевой воды определялся путем анализа средних проб за период дождя. Для систематизации источников загрязнения поверхностных вод на территории города в исследовании выделили различные функциональные зоны: зоны с преобладанием многоэтажной застройки, зоны с преобладанием индивидуальных частных застройки, промышленные зоны, автодороги.

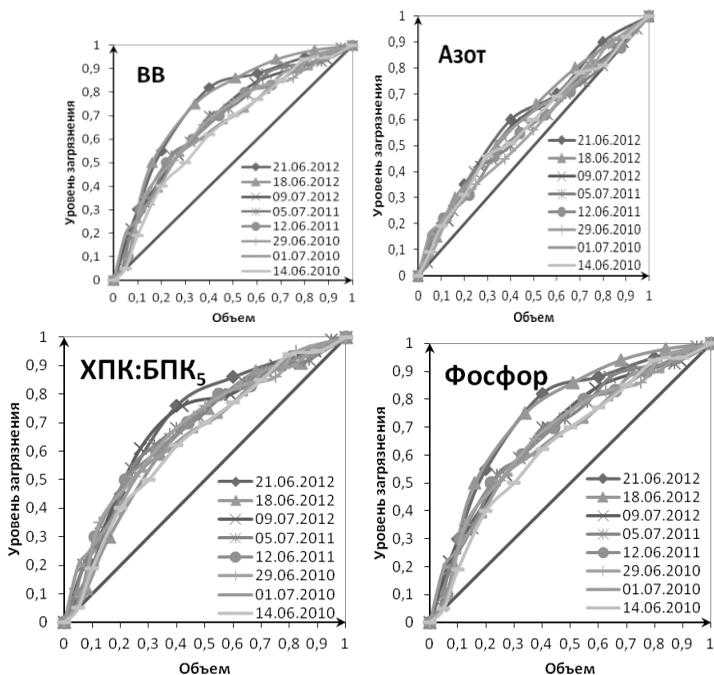
Сеть ливневой канализации на всех водосборах — полная раздельная, представлена в виде самотечных коллекторов, разгрузка дождевых сточных вод поступает без очистки на прямую в водные источники города Житомира.

Анализ результатов собственных исследований (2007—2012 годы) на водосборах показал, что концентрации загрязняющих веществ в ливневых стоках с урбанизированных территорий не являются постоянными. Формирование качественного состава ливневых сточных вод в первых фазах дождя зависит от многих факторов: расхода сточных вод, времени между дождями, массы загрязняющих веществ, которая накопилась на водосборе за период между дождями, интенсивности дождя. В заключительную фазу дождя смыв определяется массой загрязняющих веществ, постоянно находящихся на водосборе (в почвах, порах дорожных покрытий и т. д.). В этой фазе концентрации ингредиентов однозначно зависят от расхода ливневого стока в замыкающем створе.

Наибольший вынос загрязнений с поверхностным стоком в реки происходил в ранних фазах в начале дождя. Вынос загрязнений был не пропорционален объему стока с водосборных территорий. На рисунке 1 представлено кумулятивное распределение основных загрязняющих веществ по показателям: взвешенные вещества (ВВ), химическое потребление кислорода (ХПК), биологическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), азот, фосфор в ливневых стоках в безразмерных единицах.

График распределения количества загрязнения от объема показал, что концентрация загрязнения связана с площадью водосбора и объемом стока, в течение всего ливня. Если количество загрязняющих веществ выносятся с водосбора пропорционально

объему стока, то кривые нагрузки загрязнений в стоках будут сочетаться с биссектрисой. Чем больше вынос загрязнений в дождевом стоке, тем кривые будут выше биссектрисы.



**Рисунок 1. График распределения количества загрязнения от объема**

Данные исследования позволили рассчитать количество загрязняющего вещества кг/га в год с различных функциональных зон города (таблица 1) через замыкающие створы водосборов.

*Таблица 1.*

**Средний вынос загрязняющих веществ с поверхностным стоком  
кг/га в год с различных функциональных зон города Житомир**

Функциональные зоны	Фосфор	Азот	Органические вещества		Взвешенные вещества
			по ХПК	по БПК	
Зоны с преобладанием многоэтажной застройки	1,3	2,4	83	27	1750
Зоны с преобладанием индивидуальной частной застройки	0,65	1,9	25	13	1430
Промышленные зоны, автодороги	1,7	3,4	78	34,5	2200

Среди многих факторов и процессов, оказывающих влияние на загрязняющие вещества при прохождении от источника до замыкающего створа, выявлена длина пути транспортировки поллютанта, которая определяется размером водосбора и его гидролого-геологическими особенностями. Следовательно, чтобы использовать значение о количестве загрязняющего вещества, полученное для одного водосборного бассейна, для оценки величины диффузной нагрузки следует убедиться, что размеры водосборных бассейнов близки, а гидрологические и гидрометеорологические условия и типы функциональных зон подобны.

Тем не менее, обобщенная характеристика водосборного бассейна, количество загрязнений интегрально характеризующие и уровень загрязненности территории, и ее гидрологические особенности, и характер хозяйственного освоения, и плотность населения и т. д., является удобным параметром для оценки диффузного загрязнения водоемов.

Проведенная на основе исследований, инвентаризация источников поступления основных загрязняющих веществ в поверхностный сток с территории города позволяет при отсутствии систематических наблюдений за сбросами дождевых вод устанавливать основные источники поступления загрязняющих веществ в техногенной экосистеме, возникшей под влиянием техногенных факторов, «селитебная территория – окружающая среда» (таблица 2).

**Таблица 2.**

**Классификация основных источников поступления химических веществ в состав поверхностного стока с поверхности на селитебных территориях**

Загрязняющие вещества	Источники поступления веществ со средой загрязнения			
	атмосфера	поверхности территорий	почвы	растительный покров
Взвешенные вещества	атмосферные осадки, выбросы автотранспорта, отопительных систем, предприятий	поверхности автодорог, крыши, тротуары, газоны, т. д.	эрозия почвы	смыв атмосферными осадками
Вещества группы азота	атмосферные осадки, выбросы автотранспорта	накопление бытовых отходов, опавших неубранных листьев, травы	использования удобрений на территориях	опавшие листья
Фосфаты	атмосферные осадки, выбросы автотранспорта	накопление бытовых отходов опавших неубранных листьев, смазочные вещества	использования удобрений на территориях	опавшие листья
Органические вещества	–	накопление бытовых отходов, опавших неубранных листьев, травы	использования удобрений на территориях	смыв атмосферными осадками

**Выводы:**

1. Исследован качественный состав поверхностного стока с различных водосборных поверхностей на территории Житомира. Определен перечень приоритетных загрязняющих веществ в дождевых водах с поверхности города.

2. Проведенная инвентаризация источников поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с селитебных поверхностей позволяет определить меры по снижению влияния ливневых вод с водосборов на окружающую среду.

3. Для того чтобы оценить влияние диффузных источников загрязнения на экологическое состояние водного объекта, недостаточно проанализировать только факторы, влияющие

на формирование качественных и количественных характеристик поверхностного стока. Необходимо также определить поступление химических веществ с поверхностным стоком в водный объект. Таким образом, можно отметить, что проблема формирования поверхностного стока и оценки влияния диффузных источников загрязнения на экологическое состояние водных объектов является недостаточно изученной.

### **Список литературы:**

1. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ, Ин-т водных и экологич. проблем. — Барнаул: День, 2000. — 130 с.
2. Алексеев М.И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий / М.И. Алексеев, А.М. Курганов. — М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ. — 2000. — 352 с.
3. Экологическое состояние бассейна Днепра на территории России (Под общей редакцией Г.М. Черногаевой, А.С. Зеленова, М.С. Зеленовой, Ю.А. Малеванова). — М.: Метеоагентство Росгидромета, 2009. — 230 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ЕГО ИНДЕКСУ ТОКСИЧНОСТИ

*Русинова Наталия Владимировна*

*канд. техн. наук,  
Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола,  
E-mail: [lessi\\_nat@mail.ru](mailto:lessi_nat@mail.ru)*

*Сидуков Алексей Васильевич*

*магистрант,  
Поволжский государственный технологический университет,  
г. Йошкар-Ола*

## DEFINITION OF QUALITY OF SNOW COVERING BY ITS INDEX OF TOXICITY

*Rusinova Nataliia*

*candidate of Technical Sciences, Volga State University of Technology,  
Yoshkar-Ola*

*Sidukov Alexey*

*master student, Volga State University of Technology,  
Yoshkar-Ola*

### АННОТАЦИЯ

Предложена методика определения индекса загрязнения снежного покрова по его индексу токсичности, позволяющая установить качественное состояние снежного покрова без применения химического анализа.

### ABSTRACT

There is a methodic of determining the index pollution of snow covering by its index of toxicity allowing to establish a quality status of the snow cover without use of chemical analysis.

**Ключевые слова:** снежный покров; водоросли *Chlorella Vulgaris*; индекс токсичности; индекс загрязнения воды; класс качества воды; методика.

**Keywords:** snow covering; seaweed *Chlorella Vulgaris*; the index of toxicity; the index of water pollution; the level of water quality; the methodic.

В последние годы в качестве объекта мониторинга состояния атмосферы все чаще находит применение снежный покров, благодаря которому можно проанализировать и оценить загрязненность атмосферного воздуха на территориях, для которых характерно наличие толерантного снежного покрова в течение длительного промежутка времени.

Анализ снежного покрова позволяет определить его качественное состояние, проследить пространственное распределение загрязняющих веществ по территории и получить достоверную картину зон воздействия конкретных промышленных предприятий и других объектов на состояние окружающей среды, в частности на растительность [3, с. 15; 6].

В настоящее время оценка загрязнения снежного покрова производится на основе результатов химического анализа. В некоторых случаях сложность и высокая стоимость анализов, а также большое количество видов поллютантов, источников их выбросов, создают проблемы в организации эффективного экологического мониторинга.

При помощи химико-аналитического контроля возможно определение концентрации отдельного загрязнителя без учета особенностей комбинированного характера действия загрязнителей, когда влияние каждого из них может дополнять, усиливать или подавлять друг друга. В связи с этим целесообразно использование химико-аналитических методов в комплексе с методами биотестирования.

Методы биотестирования основаны на фиксировании суммарного токсического действия на тест-организм сразу всех или многих поллютантов, что позволяет быстро и с минимальными затратами оценить качественное состояние анализируемой пробы. После биотестирования химическому анализу подвергаются лишь те образцы, которые вызывают сомнения относительно их экологической безопасности.

Применение такого комплексного подхода может существенно помочь решению проблемы мониторинга снежного покрова и мероприятий по снижению его загрязнения.

*Цель работы.* Обоснование качественного состояния снежного покрова на основе выявленных закономерностей изменения индекса токсичности и гидрхимического индекса загрязнения.

Для достижения поставленной цели применялись методы: отбора проб снега; определения токсичности снежного покрова с помощью водоросли *Chlorella Vulgaris*; расчета индекса загрязнения вод; математической обработки экспериментальных данных.

Сбор образцов снега [5] осуществлялся согласно указаниям [4]. Подготовленные образцы подвергались химическому анализу [4] и биотестированию [2] для определения гидрохимического индекса загрязнения (ИЗВ) и индекса токсичности (ИТ).

Расчет ИЗВ и определение класса качества воды проводились по методике, приведенной в [1, с. 3]. Результаты приведены в табл. 1.

Вычисление ИТ основывалось на сравнении суточного прироста численности клеток водорослей *Chlorella vulgaris* в контрольном и опытном вариантах. Контроль за численностью клеток проводился посредством измерения оптической плотности суспензии водорослей [2, с. 34]

$$KT = \frac{D_k - D_T}{D_k}, \quad (1)$$

где:  $D_k$  и  $D_T$  — величины оптической плотности контрольного и тестируемого образца, соответственно, после 22 часов культивирования водорослей.

Данные по ИТ и ИЗВ (табл. 1), полученные в процессе экспериментальных работ, подвергли математической обработке в программной среде “Curve Expert 1.4.”.

В результате моделирования был определен общий вид уравнения, описывающего динамику изменения ИЗВ в зависимости от ИТ в каждой точке отбора проб снега

$$ИЗВ = a_1 \exp(a_2 ИТ^{a_3}) \quad (1)$$

где:  $a_1, a_2, a_3$  — коэффициенты уравнения.

Таблица 1.

Экспериментальные значения ИТ и ИЗВ

Номер точки сбора	2009		2010		2011		2012	
	ИТ	ИЗВ	ИТ	ИЗВ	ИТ	ИЗВ	ИТ	ИЗВ
1	0,43	1,90	0,63	4,30	0,37	1,60	0,51	2,80
2	0,48	2,40	0,59	3,87	0,20	0,82	0,35	1,50
3	0,47	2,27	0,59	3,95	0,39	1,70	0,45	2,00
4	0,48	2,40	0,57	3,60	0,40	1,75	0,50	2,67
5	0,45	2,00	0,61	4,15	0,39	1,73	0,28	1,15
6	0,45	1,96	0,61	4,18	0,05	0,21	0,25	1,00
7	0,45	1,97	0,53	3,07	0,41	1,84	0,31	1,31
8	0,47	2,29	0,63	4,38	0,27	1,10	0,49	2,53
9	0,47	2,38	0,51	2,85	0,18	0,72	0,44	1,96
10	0,48	2,40	0,61	4,11	0,38	1,67	0,24	0,96
11	0,48	2,51	0,59	3,90	0,42	1,88	0,53	3,07
12	0,48	2,46	0,63	4,32	0,55	3,33	0,52	2,93

В зависимости от величины ИЗВ участки объектов подразделяют на классы качества [1, с. 3]. В результате моделирования данных по ИТ и ИЗВ оказалось, что значение индекса токсичности менее 0,25 соответствует II классу загрязнения воды (чистые). Изменение индекса токсичности в интервале от 0,25 до 0,45 позволяет классифицировать талые воды как умеренно загрязненные (III класс). Загрязненные (IV класс), грязные (V класс) и очень грязные воды (VI класс) соответствуют индексу токсичности, изменяющемуся в диапазоне от 0,45—0,60, 0,60—0,79 и более 0,80 соответственно (табл. 2).

Таблица 2.

Сводная таблица ИЗВ и ИТ

Общий класс	Класс качества	Класс токсичности	Значения ИЗВ	Значение ИТ	Характеристика воды	Значения ИЗВ
1 <sub>IV</sub>	1	IV	до 0,2	<0,25	Очень чистая	Нетоксичная
2 <sub>IV</sub>	2		0,2-1,0		Чистая	
3 <sub>III</sub>	3	III	1,0-2,0	0,25-0,45	Умеренно загрязненная	Малотоксичная
4 <sub>III</sub>	4		2,0-4,0		0,45-0,50	
4 <sub>II</sub>		0,50-0,60		Токсичная		
5 <sub>II</sub>	5	II	4,0-6,0		0,60-0,75	Грязная
5 <sub>I</sub>				0,75-0,80		
6 <sub>I</sub>	6	I	6,0-10,0	>0,80	Очень грязная	Высокотоксичная
7 <sub>I</sub>	7		>10,0		Чрезвычайно грязная	

Сопоставление данных по ИТ и ИЗВ позволяет охарактеризовать качество снежного покрова по уровню загрязнения и токсичности без применения химического анализа проб снега. Применение данной методики позволит при мониторинге снежного покрова определить косвенное состояние сопредельных сред, в частности атмосферного воздуха и почвы, и спрогнозировать влияние на развитии экологической ситуации в районе исследования.

### **Список литературы:**

1. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. М.: Госкомгидромет, 1986. — 6 с.
2. Григорьев Ю.С., Григорьева И.К. Методические рекомендации по проведению практических работ по экологии на базе учебной экологической лаборатории. Красноярск: КГУ, 2002. — 74 с.
3. Мазуркин П.М., Русина Н.В. Изменение площади места произрастания лидирующего дерева // Изв. вузов. Лесн. журн. — 2001. — № 1. — С. 14—20.
4. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. / Ревич Б.А., Сагит Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П. М., 1982. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://www.libussr.ru/doc\\_ussr/usr\\_16600.htm](http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_16600.htm) (дата обращения 14.07.2013).
5. Сибатуллина А.М., Сибатуллина А.К. Токсичность снежного покрова Йошкар-Олы. // Охрана и защита, обустройство, индикация и тестирование природной среды: Сб. статей студентов, аспирантов и преподавателей: Научно-учебное издание / Научн. ред. П.М.Мазуркин. М: Академия Естествознания, 2010. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.rae.ru/monographs/99-3429> (дата обращения 14.07.2013).
6. Хазимуллина Ю.З. Биотестирование воды и снежного покрова на содержание тяжелых металлов // П студ. междунар. заоч. научн.-практ. конф. «Молодежный научный форум: естественные и медицинские науки». М. 2013. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.nauchforum.ru/node/513> (дата обращения 14.07.2013).

# СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОДНОЛЕТНИКА *SETARIA GLAUCA*

*Сафаргалина Алсу Тагировна*

*аспирант, Башкирский государственный университет,  
г. Уфа*

*E-mail: [alsou.safargalina@yandex.ru](mailto:alsou.safargalina@yandex.ru)*

## STRUCTURE OF MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF THE ANNUAL *SETARIA GLAUCA*

*Safargalina Alsou*

*postgraduate student, Bashkir State University,  
Ufa*

### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования структуры морфологической изменчивости однолетнего злака *Setaria glauca* с выявлением индикаторной роли исследуемых признаков. В анализ было вовлечено 21 морфометрических параметров, из которых 8 показали себя как биологические, 11 как генетические и 2 как экологические индикаторы.

### ABSTRACT

There are the results of the investigation of the structure of morphological variability of the annual grass *Setaria glauca* with the identification of indicator role of the studied traits in the article. 21 morphometric parameters were considered. It was revealed that 8 of them are biological indicators, 11 are genetic indicators, and 2 are ecological indicators.

**Ключевые слова:** *Setaria pumila*; *Setaria glauca*; морфологическая изменчивость; адаптация; онтогенез, стратегия.

**Keywords:** *Setaria pumila*; *Setaria glauca*; morphological variability; adaptation; ontogenesis, strategy.

Занимающие в природе разные (в пределах их адаптивных возможностей) участки экологического градиента популяции одного и того же вида зрительно отличаются друг от друга степенью

выраженности морфологических реакций на факторы окружающей среды. Способность вида изменять фенотип без изменения генотипа принято называть модификацией [7, с. 11], или фенотипической пластичностью [9, с. 115], или адаптивной модификацией [1, с. 105]. Исследование структуры морфологической изменчивости позволяет определить признаки, которые участвуют в приспособлении растений к физическим флуктуациям и/или в поддержании целостности структуры. Выявление индикаторной роли признаков морфологической структуры дает более глубокие знания о биологии и экологии видов, что вкупе с изучением особенностей адаптивного морфогенеза растений рождает предпосылки для реализации практических целей: охраны видов [3, с. 85], определения перспективных сортов сельскохозяйственных культур [4, с. 76] и т. п.

Объектом нашего исследования стал однолетний злак *Setaria glauca* (L.) P. Beauv. [8, с. 638]. Согласно экологическим шкалам Д. Франка и С. Клотца [10, с. 143] вид является рудералом, а по отношению к комплексному антропогенному фактору —  $\beta$ -эугемеробом, что говорит о его приверженности к естественным местообитаниям с интенсивным антропогенным влиянием (эвтрофикацией, известкованием, незначительными нарушениями грунта) и к рудеральным сообществам. Реакция вида на стандартный комплекс факторов городской среды нейтральна — вид является урбанонейтралом. Жизненная форма — терофит. *S. glauca* — диагностический вид союза Panico-Setarion Siss. In Westh. Et al. 1946 (класс Chenopodietea Br.-Bl. 1952 em. Lohm., J. et R. Tx. 1961 ex Matusz. 1962), к которому относятся сообщества начальных стадий сукцессии на относительно сухих и легких почвах [5, с. 344].

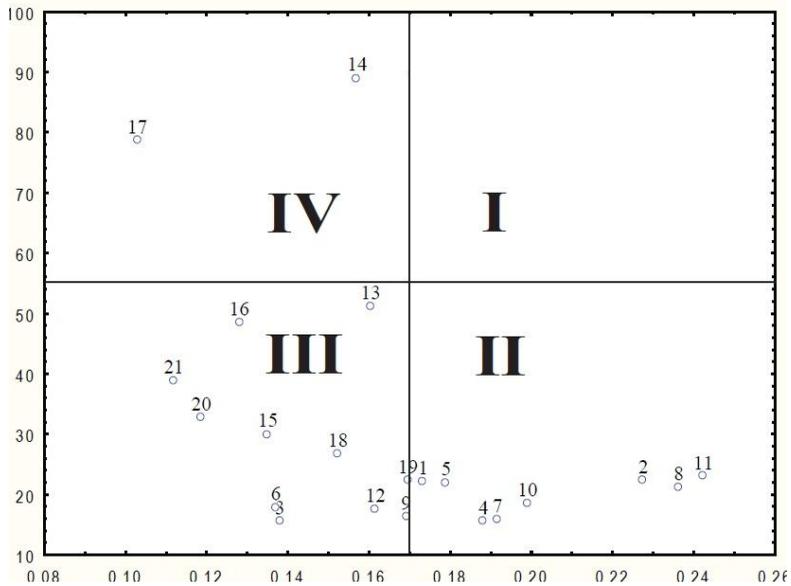
Материал для исследований отбирался в июле-августе 2011 года на территории г. Уфа, Республика Башкортостан. Всего изучено 15 выборок, каждая из которых состояла из 30 особей генеративного состояния, из разных местообитаний, охватывающих экологический ареал вида. У каждой особи были измерены и подсчитаны следующие параметры: высота растения; длина колоса; число междоузлий; длина 1-го, 2-го, 3-го междоузлия (счет сверху); длина влагалища, длина и ширина листовой пластинки 1-го, 2-го, 3-го листа; число пазушных побегов; число цветущих пазушных побегов. Вычислены генеративное усилие (длина колоса/высота растения), относительное число пазушных побегов (число пазушных побегов/число междоузлий), доля пазушных побегов, достигших генеративного состояния (число цветущих пазушных побегов/число пазушных побегов), индекс

флагового листа (длина листовой пластинки 1-го листа/ширина листовой пластинки 1-го листа).

Обработка полученных данных проводилась по методике Н.С. Ростовской [6, с. 17] с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 7. Морфометрические параметры были скоординированы вдоль осей общей (коэффициент вариации,  $CV$ ) и согласованной (усредненный коэффициент детерминации признака с прочими признаками морфологической структуры,  $R^2_{ch}$ ) изменчивости. Результаты представлены на Рис. 1.

По силе корреляции и размаху варьирования в популяциях *S. glauca* были определены следующие группы индикаторных признаков [6, с. 274]: биологические индикаторы ( $CV = 16—23\%$ ,  $R^2_{ch} = 0,17—0,24$ ), генетические индикаторы ( $CV = 15—51\%$ ,  $R^2_{ch} = 0,11—0,17$ ) и экологические индикаторы ( $CV = 79—89\%$ ,  $R^2_{ch} = 0,10—0,16$ ). Биологические и генетические индикаторы в силу относительно низкого уровня варьирования участвуют в поддержании и формировании «образа» вида. Изменения биологических индикаторов являются ключевыми для организма в целом или его отдельных частей. К генетическим индикаторам относятся параметры, которые имеют преимущественно таксономическое значение, генетически более детерминированы и имеют большую автономность в развитии. В качестве экологических индикаторов обычно выступают признаки, в большей степени зависящие от условий среды.

Как и у вида *Triticum aestivum* [2, с. 18], генеративное усилие (15) относится к генетическим индикаторам. Устойчивая индикаторная роль этого показателя, отвечающего за стабильность семенного возобновления, характерна



**Рисунок 1. Структура морфологической изменчивости вида *Setaria glauca*. Морфометрические параметры: 1 — высота растения, 2 — длина колоса, 3 — число междоузлий, 4 — длина 1-го влагалища, 5 — длина листовой пластинки 1-го листа, 6 — ширина листовой пластинки 1-го листа, 7 — длина 2-го влагалища, 8 — длина листовой пластинки 2-го листа, 9 — ширина листовой пластинки 2-го листа, 10 — длина 3-го влагалища, 11 — длина листовой пластинки 3-го листа, 12 — ширина листовой пластинки 3-го листа, 13 — число пазушных побегов, 14 — число цветущих пазушных побегов, 15 — генеративное усилие, 16 — относительное число пазушных побегов, 17 — доля пазушных побегов, достигших генеративного состояния, 18 — индекс флагового листа, 19 — длина 1-го междоузлия, 20 — длина 2-го междоузлия, 21 — длина 3-го междоузлия. Индикаторы: I — эколого-биологические, II — биологические, III — генетические, IV — экологические. По оси ординат — общая изменчивость ( $CV, \%$ ), по оси абсцисс — согласованная изменчивость ( $R^2_{ch}$ )**

для злаков-однолетников с рудеральной стратегией. Экологически зависимые и увеличивающиеся в благоприятных условиях число (14) и доля (17) цветущих пазушных побегов определяют семенную продуктивность растения-рудерала. Данные

структуры чутко реагируют на неоднородность среды и полное развитие получают в условиях, которые характеризуются достаточным количеством почвенного плодородия, инсоляции и разреженностью популяции — чаще всего в сеgetальных сообществах. Стоит отметить, что число пазушных побегов (13) и их относительное число (16), которые тяготеют в среднем к экологическим индикаторам, имеют наибольший размах варьирования и находятся в IV группе экологических индикаторов в наиболее стрессированных местообитаниях. Таким образом, определяющие биологию и экологию вида признаки морфологической структуры характеризуют *S. glauca* как вид с рудеральной стратегией.

### Список литературы:

1. Гаузе Г.Ф. Роль приспособляемости в естественном отборе // Бот. журн. — 1940. — Т. 1. № 1. — С. 105—120.
2. Байзитова Л.Н. Структура изменчивости пшеницы мягкой в условиях Зауральского региона // II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов «Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы». — Ч.1. — Уфа: Башкирский ГАУ, 2008. — 269 с.
3. Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М., Жирнова Т.В. Стратегии жизни ценопопуляции *Sephalanthera rubra* (L.) Rich. на территории Башкирского государственного заповедника // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Серия Биология. — 2005. — Вып. 1. — С. 85—98.
4. Ишбирдин А.Р., Кливаденко Е.В., Ишмуратова М.М. Адаптивный морфогенез *Solanum tuberosum* // Известия Самарского научного центра РАН. — 2011. — Т. 13. № 5(2). — С. 76—78.
5. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). — Уфа: Гилем, 1998. — 220 с.
6. Ростова Н.С. Корреляция: структура и изменчивость. — СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. — 308 с.
7. Филипченко Ю.А. Изменчивость и методы ее изучения. — М.: Наука, 1978. — 240 с.
8. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Русское издание. — СПб.: Мир и семья, 1995. — 992 с.
9. Bradshaw A.D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants // *Advances in Genetics*. — 1965. — № 13. — P. 115—155.
10. Frank D., Klotz S. Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR. — Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität, 1990. — 167 S.

# ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИИ ЖИЗНИ ОДНОЛЕТНИКА *SETARIA GLAUCA*

*Сафаргалина Алсу Тагировна*

*аспирант, Башкирский Государственный Университет,  
г. Уфа*

*E-mail: [alsou.safargalina@yandex.ru](mailto:alsou.safargalina@yandex.ru)*

## LIFE STRATEGY FEATURES OF THE ANNUAL *SETARIA GLAUCA*

*Safargalina Alsou*

*postgraduate student, Bashkir State University,  
Ufa*

### АННОТАЦИЯ

Адаптация растений к условиям среды происходит путем стабилизации или дестабилизации развития в онтогенезе отдельных морфологических параметров (онтогенетические тактики) и поддержания целостности всей морфологической структуры (онтогенетические стратегии). В результате исследования морфометрических параметров *Setaria glauca* были определены дивергентные, конвергентная и неопределенная тактики их формирования, а также стрессово-защитная онтогенетическая стратегия растений.

### ABSTRACT

Adaptation to habitats is due to the tactics and strategies that species exhibit during ontogenesis. The study of the morphometric parameters of the annual *Setaria glauca* was revealed divergent, convergent, and undefined ontogenetic tactics. The stress-protective ontogenetic strategy was identified.

**Ключевые слова:** *Setaria pumila*; *Setaria glauca*; адаптация; онтогенез, тактика, стратегия.

**Keywords:** *Setaria pumila*; *Setaria glauca*; adaptation; ontogenesis, tactic, strategy.

Адаптация к условиям среды происходит благодаря онтогенетическим реакциям растений на стресс. Характер стабилизации

развития отдельных признаков морфологической структуры растения (онтогенетические тактики) и закономерности поддержания целостности морфологической структуры (онтогенетические стратегии) определяются стрессирующим воздействием на ценопопуляции растений и зависят от вида растения [1, с. 54]. Набор онтогенетических тактик является конкретным выражением индивидуально-физиологического аппарата, поддерживающего популяцию вида в оптимальном для данного фитоценоза состоянии [2, с. 54]. В свою очередь, стратегия ценопопуляций определяется как «совокупность приспособлений, черт и свойств, проявляющихся в процессе реализации генотипа особей в меняющихся условиях естественной и антропогенной среды и обеспечивающих ее длительное существование, возможность захватывать свободные экологические ниши, переносить стресс и восстанавливать свою структуру и функции» [5, с. 174].

Объектом исследования был однолетний злак *Setaria glauca* (L.) P. Beauv. [6, с. 638]. Согласно экологическим шкалам Д. Франка и С. Клотца [7, с. 143] вид является рудералом, урбанейтралом, терофитом. По отношению к комплексному антропогенному фактору является  $\beta$ - $\alpha$ -эугемеробом, что говорит о его приверженности к деградирующим естественным и рудеральным местообитаниям. *S. glauca* — диагностический вид союза Panico-Setarion Siss. In Westh. et al. 1946 (класс Chenopodietea Br.-Bl. 1952 em. Lohm., J. et R. Тх. 1961 ex Matusz. 1962), к которому относятся сообщества начальных стадий восстановительной сукцессии (сады, поля, огороды, залежи) на легких и относительно сухих почвах [4, с. 344].

Исследования проводились в июле-августе 2011 года на территории г. Уфа, Республика Башкортостан. Всего было исследовано 15 выборок, каждая из которых включала 30 особей генеративного состояния. У каждой особи были измерены и подсчитаны следующие параметры: высота растения; длина колоса; число междоузлий; длина 1-го, 2-го, 3-го междоузлия (счет сверху); длина влагалища, длина и ширина листовой пластинки 1-го, 2-го, 3-го листа; число пазушных побегов; число цветущих пазушных побегов. Вычислены генеративное усилие (длина колоса/высота растения), относительное число пазушных побегов (число пазушных побегов/число междоузлий), доля пазушных побегов, достигших генеративного состояния (число цветущих пазушных побегов/число пазушных побегов), индекс флагового листа (длина листовой пластинки 1-го листа/ширина листовой пластинки 1-го листа).

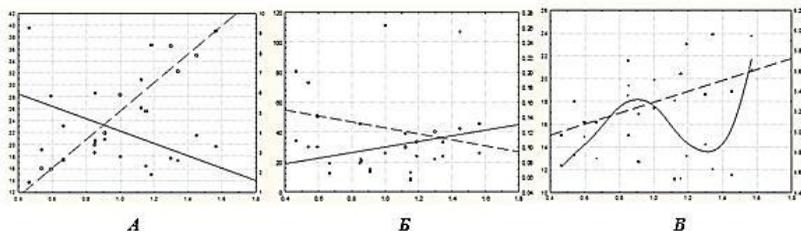
Обработка полученных данных проводилась с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 7. Для определения характера изменения вариабельности (коэффициента вариации,  $CV$ ) отдельных морфометрических параметров и морфологической целостности растений (усредненного коэффициента попарной детерминации всех учитываемых параметров,  $R^2_m$ ) был установлен экологический градиент путем ранжирования индекса виталитета ценопопуляции ( $IVC$ ) по следующей формуле [3, с. 116]:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^N X_i / \bar{X}_i}{N},$$

где:  $X_i$  — среднее значение  $i$ -го признака в ценопопуляции;  
 $\bar{X}_i$  — среднее значение  $i$ -го признака для всех ценопопуляций;  
 $N$  — число учитываемых признаков, шт.

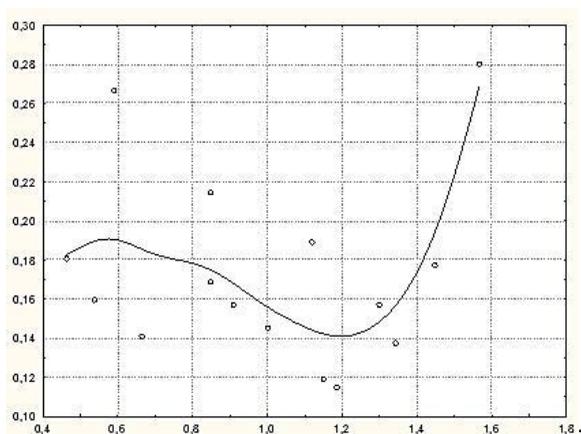
Для признаков, показавших тенденцию к понижению с улучшением условий роста, рассчитывалось обратное отношение:  $\bar{X}_i / X_i$ . Отношение максимального показателя индекса виталитета к минимальному характеризует размерную пластичность растений (индекс размерной пластичности,  $ISP$ ).

В ходе исследования были выявлены дивергентные (высота растения, длина колоса, длина 1-го, 2-го, 3-го междоузлия, длина влагалища, длина и ширина листовой пластинки 1-го, 2-го, 3-го листа, число пазушных побегов, число цветущих пазушных побегов, относительное число пазушных побегов, доля пазушных побегов, достигших генеративного состояния, индекс флагового листа), конвергентная (генеративное усилие) и неопределенная (число междоузлий) тактики. Дивергентные тактики (рис. 1, А) характеризуют признаки, размах варьирования которых увеличивается по мере усиления стресса, что ведет к понижению выровненности популяций по этим параметрам. Конвергентная тактика (рис. 1, Б), напротив, присуща тем из них, для поддержания которых у растений имеются определенные механизмы, направленные на их стабилизацию в неблагоприятных условиях. Неопределенная тактика (рис. 1, В) не имеет отчетливого направления в формировании признака.



**Рисунок 1. Онтогенетические тактики формирования признаков:**  
**А** — «длина колоса», **Б** — «генеративное усилие», **В** — «число междоузлий». По оси ординат: слева — общая изменчивость (CV, %), сплошная линия; справа — среднее значение признака, пунктирная линия; по оси абсцисс — индекс виталитета (IVC)

По характеру изменения согласованности в формировании морфологической структуры растений для вида была определена стрессово-защитная онтогенетическая стратегия (рис. 2) — с усилением стресса (с уменьшением жизнеспособности) наблюдается морфологическая дезинтеграция, которая преодолевается в условиях сильного стресса.



**Рисунок 2. Тренд онтогенетической стратегии *Setaria glauca*.**  
 По оси ординат — коэффициент детерминации ( $R^2_m$ );  
 по оси абсцисс — индекс виталитета (IVC)

По результатам исследования для вида выявлена стратегия, направленная на стабилизацию семенного воспроизводства при общем

уменьшении габитуса растений, что характерно для видов с рудеральной стратегией. Рудеральная стратегия подтверждается и высокой размерной пластичностью ( $ISP = 3,38$ ) растений. С другой стороны, вид проявил стрессово-защитную онтогенетическую стратегию, характерную для стресс-толерантов [3, с. 119]. Таким образом, для вида выявлена RS-стратегия по классификации Дж. Ф. Грайма.

### Список литературы:

1. Байзигитова Л.Н., Ишбирдин А.Р., Юмагужин Ф.Г. О некоторых проявлениях стратегии жизни мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) сорта Саратовская 55 // Вестник Оренбургского государственного ун-та. — 2009. — № 6. — С. 54—56.
2. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений: учебно-методическое пособие. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1989. — 49 с.
3. Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М. Адаптивный морфогенез и эколого-ценологические стратегии выживания травянистых растений // Методы популяционной биологии: материалы VII Всерос. популяционного семинара (Сыктывкар, 16—21 февраля 2004 г.). Сыктывкар, 2004. — Ч. 2. — С. 113—120.
4. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). — Уфа: Гилем, 1998. — 220 с.
5. Царик Й.В. Популяційна екологія — здобутки й перспективи // Біологічні Студії / *Studia Biologica*. — 2011. — Т. 5. № 3. — С. 171—182.
6. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Русское издание. — СПб.: Мир и семья, 1995. — 992 с.
7. Frank D., Klotz S. Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR. — Halle-Wittenberg: Martin-Luther-Universität, 1990. — 167 s.

# **ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ДЕТОКСИКАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ**

*Яковишина Татьяна Федоровна*

*канд. с.-хоз. наук, доцент кафедры экологии  
и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное  
заведение «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры», г. Днепропетровск*

*E-mail: [t\\_yakovyshyna@ukr.net](mailto:t_yakovyshyna@ukr.net)*

## **SUBSTANTIATION OF THE ESTIMATION INDEXES FOR THE DETOXIFICATION METHODS EFFICIENCY OF THE HEAVY METALS IN THE SOIL**

*Yakovyshyna Tatyana*

*ssociate Professor of Ecology and Environmental Protection Department,  
Doctor of Philosophy (Ecology), Associate Professor State Higher  
Educational Establishment "Pridneprovska State Academy of Civil  
Engineering and Architecture", Dnipropetrovsk*

### **АННОТАЦИЯ**

Для оценки мероприятий по химической детоксикации почвы при помощи внесения мелиорантов предложено использовать коэффициент биологического поглощения и показатель относительного содержания химического элемента. На примере загрязнения свинцом агроценоза проса показана эффективность применения в качестве мелиорантов мела, биогумуса, органо-минеральных удобрений,  $K_2S$  и  $K_2CO_3$ .

### **ABSTRACT**

The biological absorption coefficient and index of the relative content of the chemical elements have been proposed to use for estimation the of the chemical detoxification methods of the soil by the ameliorants application. The efficiency as ameliorants chalk, biohumus, organic-mineral fertilizers,  $K_2S$  and  $K_2CO_3$  has been showed for example of the lead contamination of the millet agrocenosis.

**Ключевые слова:** детоксикация, тяжелые металлы, загрязнение, почва, свинец.

**Keywords:** detoxification, heavy metals, contamination, soil, lead.

При проведении мероприятий по химической детоксикации тяжелых металлов в почве возникает вопрос поиска показателей оценки их эффективности конкретно для отдельно взятого агроценоза. Традиционное нормирование валового содержания металлов не имеет смысла, так как ксенобиотики не извлекаются из почвы, а лишь переводятся при помощи различных механизмов, как то образование органических комплексов, закрепление педогенными фосфатами и т. д., в слабо растворимые, недоступные корневой системе соединения. Извлечение тяжелых металлов аммонийно-ацетатным буферным раствором (рН 4,8) дает возможность определить их подвижность, а, следовательно, и доступность для корневой системы растений, однако и тут возникает некоторая сложность, так как разные растения, в силу своих биологических особенностей, выносят различное количество тяжелых металлов. Как правило, химическую детоксикацию техногенно загрязненной почвы в условиях сельскохозяйственного производства проводят под культуры-фитостабилизаторы (просо, кормовые травы), которые являются деконцентраторами тяжелых металлов. Если подходить к оценке эффективности мероприятий с точки зрения качества продукции растениеводства, то возникает вопрос накопления токсикантов в товарной части сельскохозяйственных культур, что в свою очередь определяется буферной способностью почвы, уровнем подвижности и надежностью связывания катионов тяжелых металлов мелиорантами, а также степенью толерантности той или иной культуры.

Поэтому целью данной работы был поиск и обоснование показателей для оценки эффективности мероприятий по детоксикации почвы на примере загрязнения агроценоза проса сорта Мироновское 51 в 5 ПДК по свинцу. В качестве мелиорантов использовали органоминеральные удобрения (ОМУ) — 1,5 ц/га; мел — 1,5 ц/га; биогумус — 1,0 ц/га,  $K_2S$  и  $K_2CO_3$ , взятые в дозах, в 1,5 раза превышающие эквивалентные количества, необходимые для полного химического связывания катионов свинца в нерастворимые соединения.  $K_2S$  и  $K_2CO_3$  вносили в виде водных растворов с последующей заделкой в почву на глубину пахотного слоя.

Традиционно накопление тяжелых металлов растением оценивается согласно коэффициенту биологического поглощения (КБП) А.И. Перельмана (1975), который рассчитывается, как отношение

содержания элемента в растении к его содержанию в почве [2, с. 272]. Однако возникает необходимость также в оценке внутренних защитных механизмов, которыми обладает само растение по отношению к тяжелым металлам, что можно сделать, используя показатель относительное содержание химического элемента (ОСХЭ), отражающий содержание тяжелого металла в данном растении по сравнению с контрольным, выращенным на незагрязненной почве.

Известно, что механизм толерантности растений (внутренние защитные приспособления по Дж. Антоновичу (1971) заключается в следующем [1, с. 96]:

1. компартментация тяжелых металлов в клеточных стенках или вакуолях, связывание их тиолсодержащими белками, пептидами и органическими кислотами;
2. связывание катионов тяжелых металлов металлотионеинами и фитохелатинами, которые посредством меркаптидных комплексов осуществляют детоксикацию;
3. усиление экскреции катионов тяжелых металлов из растений при гуттации и отторжении вегетативных органов;
4. развитие в организме растений адаптивных изменений, а именно: поиск альтернативных метаболических реакций, изменение структуры ферментов.

При формировании в 5 ПДК на 1 м<sup>2</sup> пахотного слоя (0—30 см) поступает 56,64 г свинца, что обеспечивает его подвижность на уровне 84,5 мг/кг почвы. Внесенные мелиоранты снижали его подвижность практически в 2 раза (табл. 1) и образовывали соединения разной степени растворимости в зависимости от принципа действия: мел, K<sub>2</sub>S и K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> — PbS и PbCO<sub>3</sub>, а ОМУ и биогумус — органические комплексы со свинцом.

*Таблица 1.*

**Характеристики содержания Рb в почве и растениях**

Вариант	Содержание подвижных форм Рb в почве, мг/кг	КБП Рb	ОСХЭ
<b>КОНТРОЛЬ (НЕЗАГРЯЗ- НЕННАЯ ПОЧВА)</b>	0,07	0,0095	–
Рb	82,5	0,1845	118,3
Рb + ОМУ	58,9	0,0028	1,7
Рb + биогумус	52,6	0,0020	1,3
Рb + мел	64,2	0,0019	1,2
Рb + K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	34,5	0,0016	1,0
Рb + K <sub>2</sub> S	34,9	0,0014	0,9

Формирование загрязнения в 5 ПДК нарушает защитные механизмы и способствует бесконтрольной транслокации катионов  $Pb^{2+}$  в организм растения, так КБП в 19,4 раза превышает контроль, причем данный процесс во многом зависит от химической природы самого металла, который в нативных условиях относится к элементам слабого накопления. Снижение подвижности свинца в почве за счет внесения мелиорантов обеспечивало работу защитных механизмов растения, о чем свидетельствуют значения КБП в несколько раз ниже контрольного варианта. Меньшая эффективность от применения мела по сравнению с  $K_2CO_3$  объясняется его недостаточной для полного химического связывания дозой внесения 1,5 ц/га или  $15 \text{ г/м}^2$ . Было бы целесообразным при расчете дозы внесения мела учитывать содержание в почве катионов тяжелого металла, глубину загрязненного слоя и ориентироваться на методику расчета и внесения  $K_2CO_3$  и  $K_2S$ . Так, на  $1 \text{ м}^2$  на глубину пахотного слоя при загрязнении в 5 ПДК следовало бы внести на варианте с Pb — 40,902 г этого вещества.

При анализе показателя ОСХЭ сразу видна эффективность проведенных мероприятий направленных на снижение техногенной нагрузки в результате загрязнения почвы свинцом, значения контроля (незагрязненная почва) достигают растения, выращенные на вариантах с  $K_2CO_3$  и  $K_2S$ . Этот показатель дает возможность быстро оценить накопление тяжелого металла растительным организмом, однако утрачивается информация о состоянии защитных механизмов растения с привязкой к конкретному уровню загрязнения, что обеспечивает КБП.

Подытожив выше изложенное, следует отметить, что использование показателей КБП и ОСХЭ дает возможность всесторонне оценить эффективность мероприятий по химической детоксикации почвы за счет внесения мелиорантов. При этом КБП будет свидетельствовать о состоянии защитных механизмов, которыми обладает само растение, относительно уровня загрязнения почвы, а ОСХЭ — о соответствии содержания токсиканта уровню экологически безопасной продукции.

### **Список литературы:**

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. — Новосибирск.: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. — 151 с.
2. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. — М.: Высшая школа, 1975. — 344 с.

## СЕКЦИЯ 5.

### ХИМИЯ

#### 5.1. БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

##### **АРЕТХ2-ПОДОБНЫЕ ТОКСИНЫ АКТИНИИ *HETERACTIS CRISPA***

***Калина Римма Сергеевна***

*студент, Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
Дальневосточный Федеральный Университет,  
г. Владивосток  
E-mail: [kalinarimma@gmail.com](mailto:kalinarimma@gmail.com)*

***Гладких Ирина Николаевна***

*канд. хим. наук, науч. сотр. лаборатории химии пептидов,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова  
Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
г. Владивосток*

***Кошелев Сергей Геннадьевич***

*канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории нейрорецепторов  
и нейрорегуляторов, Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт биоорганической химии имени академиков  
М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук,  
г. Москва*

***Монастырная Маргарита Михайловна***

*д-р хим. наук, в.н.с. лаборатории химии пептидов,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова  
Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
г. Владивосток*

**Козловская Эмма Павловна**

*д-р хим. наук, профессор,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова  
Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
г. Владивосток*

**APETX2-LIKE TOXINS  
FROM ACTINIA HETERACTIS CRISPA**

***Kalina Rimma***

*student, Far Eastern Federal University,  
Vladivostok*

***Gladkikh Irina***

*candidate of chemical sciences, research worker of the laboratory of  
Peptide Chemistry, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry,  
Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok*

***Koshelev Sergej***

*candidate of biological sciences, senior research worker  
of the laboratory of neuroreceptors and neuroregulators,  
M.M. Shemyakin and Yu.A. Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry  
of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow*

***Monastyrnaya Margarita***

*doctor of Chemistry, leading research worker of the laboratory of Peptide  
Chemistry, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far  
Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok*

***Kozlovskaya Emma***

*doctor of Chemistry, professor, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic  
Chemistry, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,  
Vladivostok*

## АННОТАЦИЯ

Описано выделение и определение биологической активности APETx2-подобных токсинов из актинии *Heteractis crispa* — модуляторов ASICs каналов.

## ABSTRACT

Process of purification and determination of biological activity of the APETx2-like toxins from the sea anemone *Heteractis crispa*, channel modulators of ASICs, is described.

**Ключевые слова:** актинии; APETx2; ASICs.

**Key words:** sea anemones; APETx2; ASICs.

*Работа поддержана грантом Президиума РАН № 12-1-Р6-10 «Молекулярная и клеточная биология» и грантом ДВО РАН № 13-III-B-05-075 «Новые токсины ASICs-каналов из актинии Heteractis crispa».*

Среди морских организмов, продуцирующих биологически активные соединения, особое место занимают морские кишечнорастворимые, актинии. Их яды содержат широкий спектр белковых компонентов, в том числе нейротоксины-модуляторы ионных каналов и ионотропных рецепторов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , ASICs и др.), участвующих в формировании болевого сигнала и его передаче в ЦНС [9]. Направленное действие на различные биологические мишени и огромное структурное разнообразие нейротоксинов позволяют использовать их для создания высокоспецифичных обезболивающих препаратов, а также в качестве инструментов изучения строения и механизмов функционирования ионных каналов.

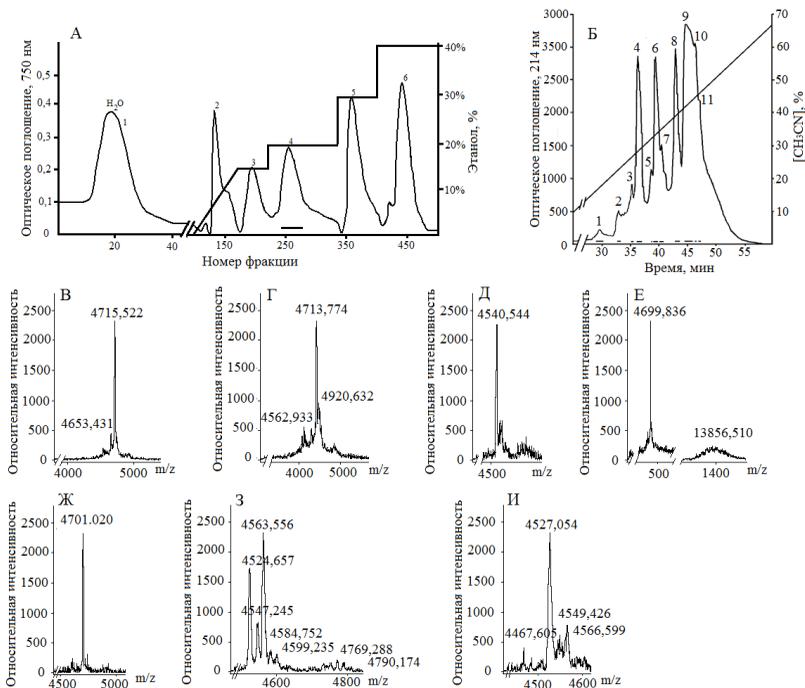
К настоящему времени обнаружено лишь два полипептидных токсина актиний, ингибирующих кислоточувствительные ASICs каналы: APETx2 (4557,96 Да), продуцируемый актинией *Anthopleura elegantissima*, который обратимо ингибирует ASIC3, ASIC2b+3, ASIC1a+3 и ASIC1b+3 каналы крысы [6], и  $\pi$ -AnmTX Hcr 1b-1 (4537 Да), полученный нами из *H. crispa*, ингибирующий ASIC3 каналы человека [3].

Недавно из 70 %-ного этанольного экстракта *H. crispa* с помощью гидрофобной хроматографии на полихроме-1 и последующей ОФ-ВЭЖХ получено одиннадцать фракций полипептидов (рис. 1, А, Б), значения молекулярных масс которых, по данным MALDI-TOF MS, варьировали от 4500 до 5000 Да (рис. 1, В-И). Тестирование полипептидных фракций 5, 7, 9 и 10 *in vivo* на модели кислотной

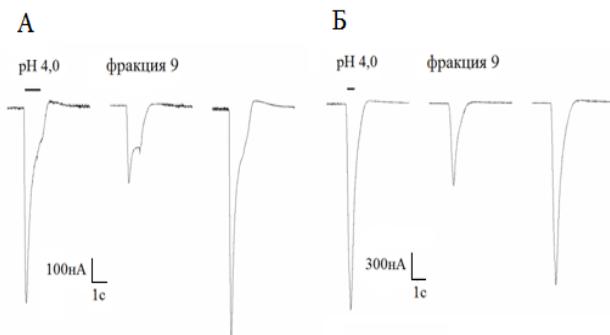
стимуляции боли показало, что они проявляют анальгетическую активность [1]. При электрофизиологическом исследовании на ASICs каналах, экспрессированных в мембранах ооцитов лягушки *Xenopus laevis*, было обнаружено, что наибольшей ингибирующей активностью обладают полипептиды 9-ой фракции: они блокируют ASIC3 каналы человека на 74 %, а ASIC1a каналы крысы — на 57 % (рис. 2). Очевидно, токсины, содержащиеся во фракциях 5—10, являются представителями мультигенного семейства, о чем свидетельствует их большое количество и близость молекулярных масс (рис. 1, В-И). Это затрудняет получение полипептидов в индивидуальном состоянии и требует применения методов молекулярной биологии. Ранее наличие мультигенных семейств было обнаружено нами для пороформирующих токсинов и ингибиторов протеиназ семейства Кунитца, продуцируемых активней *H. Crispa* [2, 5].

Согласно множественному выравниванию полипептиды, выделенные из *H. crispa*, можно отнести к группе APETx2-подобных токсинов (рис. 3), среди которых детально охарактеризованы APETx1, APETx2 и APETx3 из *A. elegantissima*, специфично ингибирующие калиевый канал HERG, ASIC3 и Na<sub>v</sub>1.2—Na<sub>v</sub>1.8 каналы соответственно [4, 6, 7],  $\pi$ -AnmTX Hcr 1b-1 из *H. crispa*, ингибирующий ASIC3 [3], а также токсины BDS-I и BDS-II из *Anemonia viridis* [11], блокирующие каналы подтипов K<sub>v</sub>3.1, 3.2, 3.4; мишени остальных токсинов [8, 10] пока не известны.

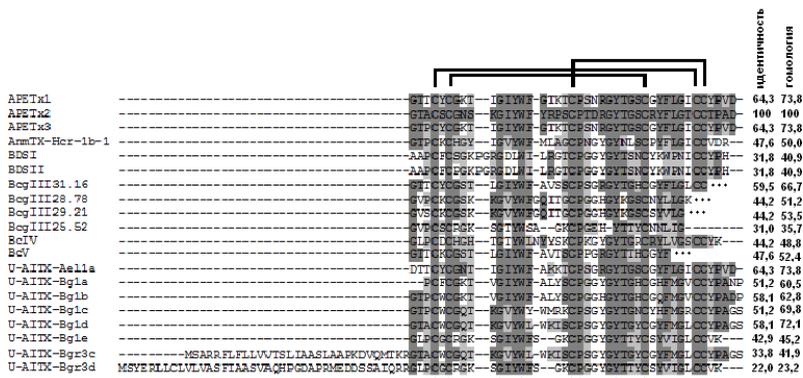
Следует отметить высокую степень гомологии аминокислотных последовательностей APETx1 и APETx2 (73,8 %) и более низкую с  $\pi$ -AnmTX Hcr 1b-1 (50 %). Тем не менее, это позволит использовать их для установления структур APETx2-подобных токсинов методами молекулярной биологии.



**Рисунок 1. Профиль элюции полипептидов, содержащихся в 70 %-ном этанольном экстракте *H. crispus*, полученный А) в результате гидрофобной хроматографии на полихроме-1; (Б) ОФ-ВЭЖХ полипептидной фракции пика 4 (рис. 1, А) на колонке Nucleosil C<sub>18</sub>. Отмечены границы объединения активных фракций. (В-И) Масс-спектры полипептидов (рис. 1, Б), содержащихся во фракциях 5 (В), 6 (Г), 7 (Д), 8 (Е), 9 (Ж), 10 (З), 11 (И)**



**Рисунок 2.** Записи токов через ASIC3 каналы человека (А) и ASIC1a каналы крысы (Б), экспрессированные в ооцитах лягушки *X. laevis*. Токи индуцированы полипептидной фракцией 9 (рис. 1, Б) и изменением значения рН буферного раствора от 7,8 до 4,0. Клетки фиксированы при потенциале  $-50$  мВ, скорость потока раствора  $\sim 1$  мл/мин



**Рисунок 3.** Множественное выравнивание аминокислотных последовательностей APETx1–APET3, U-AITX-AeIIa из *A. elegantissima* [4, 6, 7, 10], BDS-I и BDS-II из *A. Viridis* [11],  $\pi$ -AnmTX Hcr 1b-1 из *H. Crispa* [3], Bcg III из *Bunodosoma cangicum* [8], Bc IV, V из *B. Caissarum* [8] и U-AITX-Bg1a, b, c, d, e из *B. Granulifera* [10]. Выравнивание выполнено с помощью программы CLUSTALW. Идентичные и консервативные участки отмечены темным и светлым оттенками серого цвета соответственно. Звездочками обозначены высоко консервативные а.о., сверху показана схема расположения дисульфидных мостиков

## Список литературы:

1. Калина Р.С., Поиск новых токсинов ASIC3-каналов из актинии *Heteractis crispa* // XIV Всероссийская молодежная школа-конференция по актуальным проблемам химии и биологии: Тез. докл. Владивосток: ТИБОХ ДВО РАН. — 2012. — С. 18.
2. Новые актинопорины актинии *Heteractis crispa*: клонирование и функциональная экспрессия / Е.С. Ткачева и др. // Биохимия. — 2011. — Т. 76. № 10. — С. 1387—1397.
3. Полипептидный токсин из морской анемоны, ингибирующий протон-чувствительный канал ASIC3 / С.А. Козлов и др. // Биоорг. химия. — 2012 — Т. 38. № 6. — С. 653—659.
4. A natural point mutation changes both target selectivity and mechanism of action of sea anemone toxins / S. Peigneur et al. // FASEB J. — 2012. Vol. 26. № 12. — P. 5141—5151.
5. A new multigene superfamily of Kunitz-type protease inhibitors from sea anemone *Heteractis crispa* / M.P. Isaeva et al. // Peptides. — 2012. — V. 34. № 1. — P. 88—97.
6. A new sea anemone peptide, APETx2, inhibits ASIC3, a major acid-sensitive channel in sensory neurons / S. Diochot et al. // EMBO J. — 2004. — Vol. 23. — P. 1516—1525.
7. APETx1, a new toxin from the sea anemone *Anthopleura elegantissima*, blocks voltage-gated human ether-a-go-go-related gene potassium channels / S. Diochot et al. // Mol. Pharmacol. — 2003. — V. 64 — P. 59—69.
8. BcIV, a new paralyzing peptide obtained from the venom of the sea anemone *Bunodosoma caissarum*. A comparison with the Na<sup>+</sup>-channel toxin BcIII / J.S. Oliveira et al. // Biochim. Biophys. Acta. — 2006. — V. 1764. — P. 1592—1600.
9. Honma T. Peptide toxins in sea anemones: structural and functional aspects / T. Honma, K. Shijmi // Mar. Biotechnol. — 2005. — Vol 8. № 1. — P. 1—10.
10. Peptide fingerprinting of the neurotoxic fractions isolated from the secretions of sea anemones *Stichodactyla helianthus* and *Bunodosoma granulifera*. New members of the APETx-like family identified by a 454 pyrosequencing approach / A.A. Rodríguez et al. // Peptides. — 2012. — Vol. 34. — P. 26—38.
11. Sea anemone peptides with a specific blocking activity against the fast inactivating potassium channel KV3.4 / S. Diochot et al. // J. Biol. Chem. — 1998. — Vol. 273. — P. 6744—6749.

## 5.2. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭМУЛЬСИИ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДОВ КАДМИЯ, РТУТИ И СВИНЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ СТАБИЛИЗАТОРА

*Фарус Оксана Анатольевна*

*канд. хим. наук, доцент, ФГБОУ ВПО*

*«Оренбургский государственный педагогический университет»,*

*г. Оренбург*

*E-mail: [farusok@yandex.ru](mailto:farusok@yandex.ru)*

### THE DEPENDENCE OF STABILITY OF THE MICROEMULSION NANOPARTICLE SULFIDES OF CADMIUM, MERCURY AND LEAD, DEPENDING ON THE CONCENTRATION OF STABILIZER

*Farus Oksana*

*candidate of chemical science,*

*Associate Professor of Orenburg State Pedagogical University,*

*Orenburg*

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрена возможность получения наночастиц сульфидов металлов с помощью реакции контролируемого осаждения, в которых в качестве стабилизатора использовался ПВС. Проанализированы спектры поглощения систем полученных на основе наночастиц сульфидов кадмия, ртути и свинца и ПВС, рассмотрена возможность определения седиментационной устойчивости микроэмульсий наночастиц на основе данных спектрофотометрического анализа.

#### ABSTRACT

The possibility of obtaining nanoparticles of metal sulfide by reaction of controlled deposition in which PVA was used as a stabilizer. Analyzed the absorption spectra of systems derived from sulfide nanoparticles of cadmium, mercury and lead and PVA, consider the possibility

of determining the sedimentation stability of microemulsions of nanoparticles on the basis of spectrophotometric analysis.

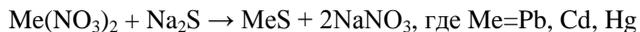
**Ключевые слова:** синтез; наночастицы сульфидов металлов; реакция контролируемого осаждения; микроэмульсия; седиментационная устойчивость; спектры поглощения.

**Keywords:** synthesis, nanoparticles of metal sulfides; reaction controlled deposition, microemulsion, sedimentation stability, absorption spectra.

В химии и технологии полимерных материалов одним из современных приоритетных направлений является создание композитных структур на основе полимеров и неорганических частиц, в которых полимер принимает участие в стабилизации наночастиц, предотвращая их агломерацию. Наиболее распространенными системами являются полимерные нанокомпозиты, ценные свойства которых заключаются в полифункциональности и возможности реализации уникальных комбинаций свойств, которые недостижимы в традиционных материалах.

Наночастицы по своему размеру занимают промежуточное положение между материалом в объеме и атомно-молекулярными структурами, что обуславливает существенное отличие ряда их физико-химических параметров от свойств цельного материала. Прежде всего, это нелинейные оптические свойства, которые зависят от размера и формы наночастиц. Поэтому использование строительных блоков наноразмера делает возможным дизайн и создание новых композитов с необычной «гибкостью» физико-химических свойств, а также синергическими эффектами их эксплуатационных характеристик. Особенно интересны так называемые Q-частицы полупроводников, многие свойства которых могут заметно отличаться от свойств характерных для объемных полупроводников [1, 5].

**Экспериментальная часть.** Наночастицы сульфидов металлов были получены химическим методом, на основе реакции нитратов металлов с сульфидом натрия:



При обычных условиях данная реакция протекает с образованием осадков, поэтому для того чтобы получить коллоидные частицы с узким распределением по размеру, необходимо стабилизировать поверхность нанокластера и тем самым предотвратить

его неконтролируемый рост. Поэтому общим подходом для получения коллоидных частиц является использование полимерных материалов в качестве стабилизатора, в нашем случае использовался поливиниловый спирт (ПВС). Данный тип реакции называется *реакциями контролируемого осаждения*, они относятся к группе реакций, при которых происходит комбинирование отдельно полученных неорганических наночастиц и полимера [3].

Необходимо отметить, что если образуются наночастицы достаточно малого размера, они могут удерживаться в каплях микроэмульсии, но так как адсорбционный слой ПАВ обладает определенной прочностью и эластичностью, то при увеличении размера наночастиц сверх определенного предела в системе протекает их седиментация [2, 4].

Для исследования зависимости устойчивости микроэмульсии, содержащей наночастицы, от концентрации стабилизатора, нами были получены растворы наночастицы сульфидов свинца, кадмия и ртути в матрице ПВС с концентрацией стабилизатора 0,1 % и 0,01 %.

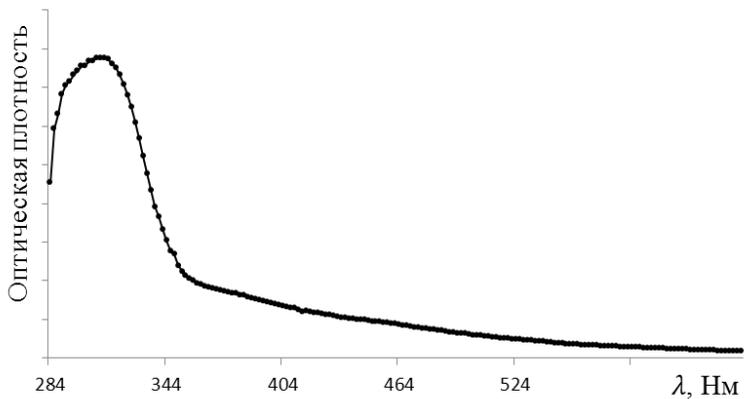
Полученные растворы, содержащие наночастицы сульфидов исследуемых металлов, имеют различную окраску, следовательно, они различаются по оптическим свойствам. Спектры поглощения, полученных дисперсий были сняты на цифровом UV—VIS спектрофотометре PD-303 UV в диапазоне длин волн 190—850 Нм.

Необходимо отметить, что микроэмульсии, в которых в качестве стабилизатора использовался 0,01 % раствор ПВС, оказались не стабильными и поэтому спектры поглощения снять для них не удалось.

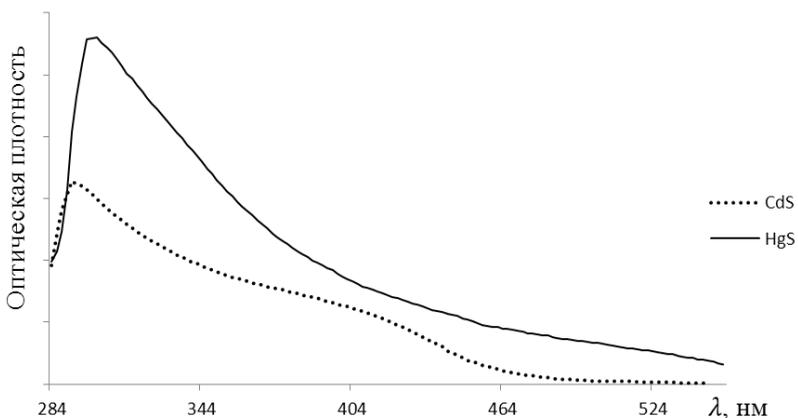
Анализ спектров поглощения (рис. 1, 2) микроэмульсий сульфидов металлов в 0,1 % растворе ПВС показывает наличие максимумов при различных длинах волн (табл. 1).

**Таблица 1.**

<b>Состав раствора</b>	<b><math>\lambda_{\max}</math>, Нм</b>
PbS-ПВС <sub>раствор</sub>	210
HgS -ПВС <sub>раствор</sub>	296
CdS -ПВС <sub>раствор</sub>	292

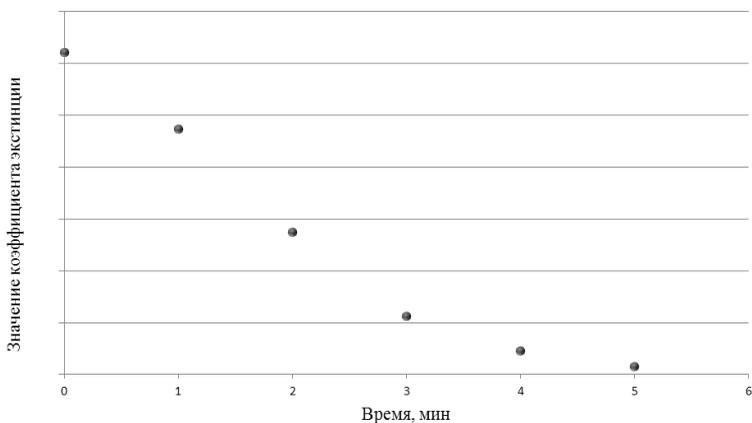


**Рисунок 1. Спектры поглощения наночастиц сульфида свинца в 0,1 % растворе ПВС**

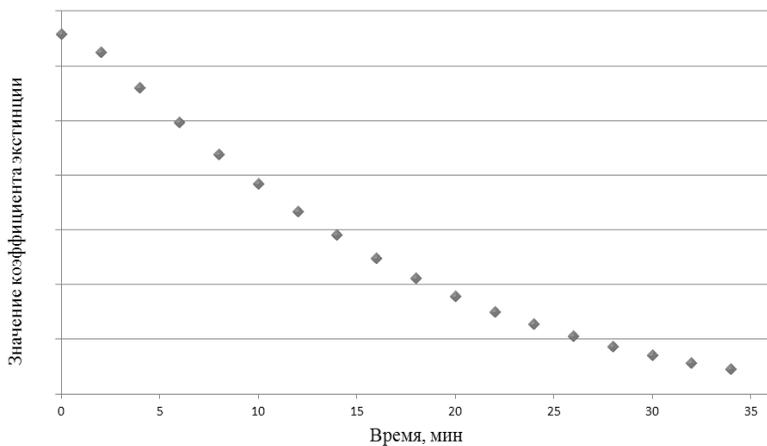


**Рисунок 2. Спектры поглощения наночастиц сульфидов кадмия и ртути в 0,1 % растворе ПВС**

При седиментации микроэмульсии с наночастицами будет происходить уменьшение величины оптической плотности в точке максимума, затем данная величина измерялась через каждые 2 минуты, полученные данные помещены на графики (рис. 3, 4).



**Рисунок 3. Зависимость значения коэффициента экстинкции в точке максимума от времени для системы  $PbS-PVC_{\text{раствор}}$  (концентрация ПВС 0,01 %)**



**Рисунок 4. Зависимость значения коэффициента экстинкции в точке максимума от времени для системы  $PbS-PVC_{\text{раствор}}$  (концентрация ПВС 0,1 %)**

Сравнительный анализ полученных графиков показывает, что микроэмульсии, образованные на основе 0,01 % ПВС

неустойчивые и в течение ~5 минут подвергается седиментации. Системы, в которых в качестве стабилизатора использовался 0,1 % раствор ПВС, является седиментационно устойчивым.

Аналогичные графики были построены для систем HgS—ПВС<sub>раствор</sub>, CdS—ПВС<sub>раствор</sub>.

Таким образом, в ходе реализации экспериментальной части исследования было установлено, что основываясь на значениях величины коэффициента экстинкции микроэмульсии с наночастицами можно установить седиментационную устойчивость наночастиц, а так же были исследованы оптические свойства полученных наносистем.

### Список литературы:

1. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы. М.: Наука, 2005. — 343 с.
2. Гуляева Е.В. Синтез наночастиц CdS, ZnS И Ag2S в жидких системах с ПАВ: автореф. дис. ... канд. хим. наук (02.00.11) / Гуляева Елена Витальевна. — М., 2013. — 18 с.
3. Грицкова И.А., Гервальд А.Ю., Прокопов Н.И., Ширякина Ю.М., Серхачева Н.С. Синтез полимерных микросфер, содержащих неорганические наночастицы. // Вестник МИТХТ. — 2011. — Т. 6. — № 5. — С. 9—20.
4. Королева М.Ю. Гуляева Е.В., Юртов Е.В. Устойчивость и оптические свойства дисперсий наночастиц CdS, ZnS и Ag2S, синтезированных в микроэмульсии. // Журнал неорганической химии. — 2012. — Т. 57. — № 3. — С. 69—75.
5. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия, 2000. — 672 с.

### 5.3. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

#### ИОННАЯ ФЛОТАЦИЯ — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Джевага Наталья Владимировна*

*канд. хим. наук, ассистент кафедры общей и физической химии  
Национального минерально-сырьевого университета «Горный»,*

*г. Санкт-Петербург*

*E-mail: [dzhevaga331@mail.ru](mailto:dzhevaga331@mail.ru)*

*Лобачева Ольга Леонидовна*

*канд. хим. наук, доцент кафедры общей и физической химии  
Национального минерально-сырьевого университета «Горный»,*

*г. Санкт-Петербург*

*E-mail: [olga-59@yandex.ru](mailto:olga-59@yandex.ru)*

#### REMOVING OF CATIONS EUROPIUM AND ITTRIUM BY ION FLOTATION

*Dzhevaga Natalya*

*candidate of chemical sciences, assistant of general  
and physical chemistry of National mineral resources university,*

*Saint-Petersburg*

*Lobacheva Olga*

*candidate of chemical sciences, assistant Professor of general  
and physical chemistry of National mineral resources university,*

*Saint-Petersburg*

#### АННОТАЦИЯ

В работе представлен краткий обзор литературы об источниках редкоземельных элементов, областях их применения, ионной флотации как адсорбционно-пузырьковым методе извлечения РЗЭ. Доказана возможность эффективного извлечения редкоземельных

элементов из водно-солевых растворов в пену методом ионной флотации.

### ABSTRACT

The paper presents a brief review of the literature about the sources of rare earth elements, their fields of application, ion flotation as adsorption-bubble method removing of REE. Proved the possibility of effective removing of rare earth elements from water-salt solutions in the foam by ion flotation.

**Ключевые слова:** адсорбционно-пузырьковые методы извлечения, ионная флотация, редкоземельные элементы, степень извлечения.

**Keywords:** adsorption-bubble methods of removing, ion flotation, rare-earth elements, the degree of removing.

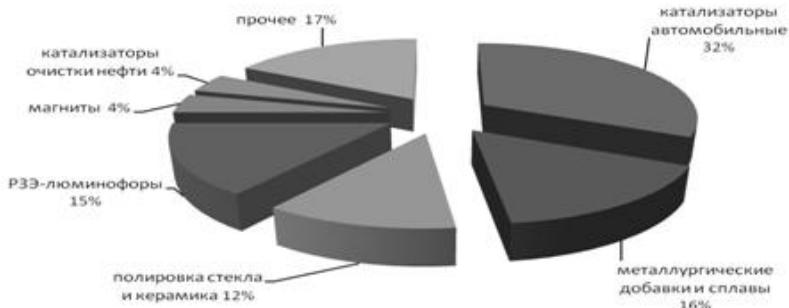
Редкоземельные элементы (РЗЭ) играют большую роль в современном обществе инновационных технологий. Они нашли широкое применение в производстве лазеров, магнитов, проводников и в других областях промышленности [3, с. 227]. В таблице 1 представлены основные сферы использования индивидуальных РЗЭ.

*Таблица 1.*

#### Основные сферы использования индивидуальных РЗЭ в производстве

РЗЭ	Область применения
Лантан	Стекла, керамика, автомобильные катализаторы, люминофоры, пигменты, аккумуляторы
Церий	Полировальные порошки, керамика, люминофоры, стекла, катализаторы, пигменты, мишметалл, УФ-фильтры
Самарий	Постоянные магниты, микроволновые фильтры, атомная промышленность
Европий	Люминофоры
Гольмий	Керамика, лазеры, атомная промышленность
Эрбий	Керамика, красители для стекла, оптические волокна, лазеры, атомная промышленность
Иттербий	Металлургия, химическая промышленность

Наглядная схема использования редкоземельных элементов в различных отраслях промышленности изображена на рисунке 1.



**Рисунок 1. Отраслевое потребление РЗЭ в начале XXI века**

В мире в целом основными источниками редкоземельных элементов являются минералы бастнезит, монацит, лопарит, ксенотим, ионно-абсорбционные глины.

Альтернативными источниками редкоземельных элементов являются:

- отходы техногенного характера, получаемые при производстве промышленных материалов;
- конвертерные пыли, шлаки;
- красные шламы алюминиевого производства;
- бедное минеральное сырье.

В России наиболее доступными и эффективными для переработки являются ловозерские лопаритовые, эвдиалитовые и хибинские апатит-нефелиновые руды на Кольском полуострове [5, с. 136]. Для покрытия потребностей отраслей народного хозяйства и развития российской редкометаллической промышленности особый упор следует делать на попутное извлечение РЗЭ из перерабатываемых многокомпонентных руд и бедного техногенного сырья, а не на разработку новых месторождений [3, с. 19].

**Таблица 2.**

**Сравнительное содержание РЗЭ в рудах**

Минерал, (мас. % $Ln_2O_3$ )	Оксиды РЗЭ (в % от общего содержания в минерале)						
	La	Ce	Sm	Eu	Ho	Er	Yb
Лопарит, (~30)	25	53	0,9	0,08	0,08	0,02	<0,01
Апатит, (0,9)	27	43	2,1	0,7	0,1	0,4	0,1
Эвдиалит, (2,3)	12	29	4,2	0,95	0,9	2,0	1,9

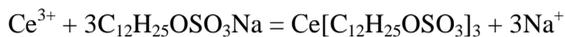
Известным гидрометаллургическим схемам переработки концентратов РЗЭ свойственны общие недостатки, которые

определяются бедным многокомпонентным сырьем, требующим для переработки сложные технологические схемы с большой затратой реагентов и энергии. При переработке низкоконцентрированного сырья образуются отходы, использование которых не определено, а захоронение затруднено [2, с. 23].

Инновационным способом извлечения редкоземельных элементов из низкоконцентрированного сырья и промышленных продуктов его переработки является ионная флотация. Метод ионной флотации обладает избирательностью, высокой скоростью проведения процесса, эффективностью при низких исходных концентрациях катионов металла. В работе [1, с. 58] предлагается использовать ионную флотацию для извлечения РЗЭ различными типами анионных ПАВ из продуктов сернокислотной переработки апатита. Возможно извлечение РЗЭ из полугидратного фосфогипса с помощью ионной флотации диалкилфосфорной кислотой. В отличие от экстракционных методов ионная флотация позволит избежать образования объемных осадков, потерь РЗЭ, использования дорогостоящих экстрагентов.

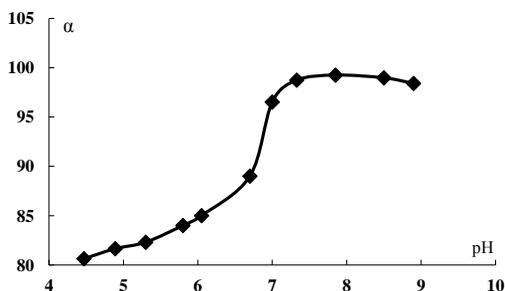
В масштабах промышленности ионная флотация используется для очистки промышленных и бытовых сточных вод от катионов цветных, редких, радиоактивных металлов [6, с. 39]. Ионная флотация позволяет осуществить извлечение целевого компонента и попутных катионов металлов.

Авторами настоящей работы проведено исследование эффективности извлечения катионов церия (III) из водных растворов его солей методом ионной флотации. Состав растворов аналогичен составу техногенных отходов, получаемых при переработке низкоконцентрированного сырья. В качестве собирателя было предложено использовать поверхностно-активное вещество (ПАВ) — додецилсульфат натрия (NaDS). Преимуществами NaDS по сравнению с другими ПАВ являются нетоксичность (IV класс опасности); дешевизна; для осуществления процесса необходимы количества NaDS, соответствующие стехиометрии химической реакции; возможность применения NaDS в широких диапазонах кислотности жидкой фазы; возможность регенерации из продуктов ионной флотации. Концентрация додецилсульфата натрия соответствовала стехиометрии химической реакции:



Объем исходной водной фазы был равен 200 мл. Процесс ионной флотации проводили на полупромышленной флотационной машине 137 В-ФЛ в течение 5 минут. Исследования проводили в интервале

pH 4,0—9,0 с шагом 0,5. Полученную пену разрушали концентрированной серной кислотой. Пенный продукт и камерный остаток анализировали на содержание целевого компонента фотометрическим методом с арсеназо (III) по известной методике [4, с. 175]. Полученные экспериментальные данные по исследованию эффективности извлечения катионов церия (III) представлены на рис. 2.



**Рисунок 2. Зависимость степени извлечения церия (III) от pH раствора**

Согласно полученным результатам методом ионной флотации возможно достичь извлечения целевого компонента — катионов церия (III) из водно-солевых растворов до 99 % при величине водородного показателя pH более 7,0.

### Список литературы:

1. Вершков А.В., Маслобоев В.А. Применение ионной флотации для извлечения редкоземельных элементов из продуктов серноокислотной переработки апатита. Цветные металлы. 1995. № 2. — С. 58—59.
2. Вершкова Ю.А. Извлечение редкоземельных элементов методом ионной флотации при азотнокислой переработке апатита // Автореферат на соиск. уч. ст. к.т.н. — Апатиты: 2000. — 28 с.
3. Коган Б.И. Редкие металлы: состояние и перспективы // М.: Наука. 1978. — 356 с.
4. Савин С.Б. Арсеназо III. / М.: Атомиздат. 1966. — 265 с.
5. Самонов А.Е. Перспективы развития производства и потребления редкоземельной продукции в России. Материалы Всероссийской научной конференции. 2008. — С. 134—138.
6. Флотационные методы извлечения ценных компонентов и очистки сточных вод // Матер. Всесоюз. семинара — М.: 1972. Вып. 1. — 158 с.

## **PH ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В РАСТВОРАХ Y(III), CE(III), SM(III)**

***Лобачева Ольга Леонидовна***

*канд. хим. наук, доцент,  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Санкт-Петербург  
E-mail: [olga-59@yandex.ru](mailto:olga-59@yandex.ru)*

***Джевага Наталья Владимировна***

*канд. хим. наук,  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Санкт-Петербург  
E-mail: [dzhevaga331@mail.ru](mailto:dzhevaga331@mail.ru)*

## **PH OF THE HYDRATE FORMATION IN Y(III), CE(III), SM(III) SOLUTIONS**

***Lobacheva Olga***

*associate professor, PhD,  
National Mineral Resources University “Mining”,  
Saint-Petersburg*

***Dzhevaga Natalia***

*assistant, PhD, National Mineral Resources University “Mining”,  
Saint-Petersburg*

*Работа выполнена согласно проекту ГК № 0622 от 05.10.2010.*

### **АННОТАЦИЯ**

Методом кондуктометрического титрования определены значения pH гидратообразования в растворах нитратов Y, Ce, Sm в степенях окисления +3. Вычислены произведения растворимости и энергии Гиббса образования гидроксидов перечисленных элементов. Обнаружено, что энергия Гиббса растворения гидроксидов лантаноидов составляет в среднем  $149,83 \pm 0,90$  кДж/моль. На этом основании оценены энергии Гиббса образования гидроксидов остальных лантаноидов.

## ABSTRACT

The values of the  $pH$  hydrate formation in nitrate solutions of Y, Ce, Sm in oxidation states — (+3) were defined by the method of the conductometric titration. Solubility product and the Gibbs energy formation of the hydroxides of listed items were calculated. The Gibbs energy of dissolution of hydroxides of lanthanides are about  $149,83 \pm 0,90$  KJ/mol. The Gibbs energy of formation hydroxides of the rest lanthanides on this basis were estimated.

**Ключевые слова:** Редкоземельные элементы;  $pH$  гидратообразования; энергия Гиббс; комплексообразование

**Keywords:** rare-earth elements;  $pH$  values of hydrate formation; Gibb's Energy; complex formation

В современной справочной литературе [3, с. 95; 5, с. 5; 6, с. 331; 8, с. 79] наблюдаются значительные, в некоторых случаях более 100 кДж/моль, расхождения в значениях энергий Гиббса образования гидроксидов лантаноидов. Уточнение этих величин необходимо для расчета  $pH$  гидратообразования и прогнозирования оптимальных условий для извлечения и разделения лантаноидов методом ионной флотации, так как считают, что резкое возрастание степени извлечения происходит в области  $pH$  гидратообразования [4, с. 55; 7, с. 468]. Поэтому предпринято определение  $pH$  гидратообразования в растворах нитратов лантаноидов с расчетом произведений растворимости и энергий Гиббса образования соответствующих гидроксидов.

Использован метод кондуктометрического титрования. Аликвоты по 10 мл растворов нитратов иттрия(III), церия(III), самария(III) с концентрацией 0,001 моль/кг<sup>1</sup>, подкисленные  $HNO_3$  до  $pH$  около 4, титровали 0,00204 н. раствором NaOH. После добавления каждой порции 0,5—1,0 мл раствора щелочи смесь перемешивали до установления постоянного значения удельной электропроводности, которую измеряли с помощью кондуктометра марки «Анион 4100». Параллельно измеряли  $pH$  с помощью иономера «Анион 7010». По результатам строили кривые титрования. В работе использовали гексагидраты нитратов иттрия марки «ч.д.а.», самария — марки «х.ч.». На кривых кондуктометрического титрования выделяются следующие участки.

1) линейное понижение удельной электропроводности вследствие нейтрализации азотной кислоты щелочью; 2) при  $pH$  5,0—5,5 на зависимости удельной электропроводности от объема добавленной щелочи наблюдается резкий излом с переходом к почти горизонтальному

участку, что свидетельствует о связывании добавляемых гидроксид-анионов в малодиссоциированное соединение. Так как образования гидроксидов не наблюдали ( $D_{\text{опт.плотность}}$  растворов не изменялась), этот участок отвечает образованию гидроксокомплексов. По количеству миллиэквивалентов NaOH и изломов на кривых титрования определили, что в случае Sm и Eu образуются только моногидроксокомплексы  $\text{Ln}(\text{OH})_2^{2+}$ , а в случае Y — кроме моногидроксокомплексов образуются также дигидроксокомплексы  $\text{Ln}(\text{OH})_2^+$ .

По окончании комплексообразования наблюдается небольшой участок кривой титрования, на котором удельная электропроводность растет вследствие накопления избытка NaOH. При  $pH$  около 6,5 начинается 2-ой — почти горизонтальный участок кривой титрования, отвечающий образованию гидроксидов. Последнее наблюдали визуально и подтверждали возрастанием  $D$  растворов. На зависимости  $pH$  от  $V$  добавленной щелочи в этой области также наблюдается близкий к горизонтальному участок.

Значения  $pH$ , отвечающие началу этого участка, были приняты в качестве  $pH$  титратообразования  $pH_{\text{hydr}}$ . Количество миллиэквивалентов NaOH, израсходованной на этих участках, отвечало протеканию реакций:

$\text{Ln}(\text{OH})^+ + 2 \text{OH}^- = \text{Ln}(\text{OH})_3$  в случае Sm и Eu или  $\text{Ln}(\text{OH})_2^+ + \text{OH}^- = \text{Ln}(\text{OH})_3$  в случае Y. Далее на кривых титрования наблюдается почти линейный рост удельной электропроводности, обусловленный избытком NaOH.

Произведения растворимости гидроксидов рассчитывали по формуле:

$$L = [\text{Me}^{3+}] \left( 10^{pH_{\text{hydr}} - 14} \right)^3 \cdot \gamma_{\pm} \quad (1),$$

где концентрация катионов металлов с учетом разбавления раствора в ходе титрования составляла от  $1,46 \cdot 10^{-4}$  до  $5,41 \cdot 10^{-4}$  моль  $\text{кг}^{-1}$ , среднеионный коэффициент активности соли лантаноида принимали равным таковому для  $\text{LaCl}_3$  при данной концентрации согласно [1, с. 125], значения составляли от 0,75 до 0,81 соответственно. Погрешности значений  $pH_{\text{hydr}}$  рассчитывали по формуле [2, с. 102]:

$$\sigma = t \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (2)$$

где:  $n$  — число точек на соответствующем участке кривой титрования,  
 $x_i$  — измеренные значения  $pH$ ,  
 $t$  — коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности 0,95.

На основе погрешности определения  $pH_{hydr}$  находили погрешности величин произведений растворимости и энергий Гиббса растворения гидроксидов лантаноидов и иттрия.

Как следует из полученных данных, Y существенно отличается от лантаноидов, его гидроксид термодинамически менее устойчив. У изученных нами лантаноидов свойства гидроксидов близки,  $pH$  гидратообразования в среднем составляет  $6,48 \pm 0,08$ , а энергия Гиббса растворения  $149,83 \pm 0,90$  кДж моль<sup>-1</sup>. На основе полученного среднего значения энергии Гиббса растворения гидроксидов лантаноидов была произведена оценка энергий Гиббса их образования. Энергии Гиббса образования гидроксидов лантаноидов и иттрия вычисляли по уравнению:

$$\Delta_f G_{298}^0 \{Me(OH)_3\} = \Delta_f G_{298}^0 \{Me^{3+}_{aq}\} + 3\Delta_f G_{298}^0 \{OH^-_{aq}\} - \Delta_s G_{298}^0 \{Me(OH)_3\} \quad (3)$$

Значения энергий Гиббса образования ионов в растворе принимали согласно справочнику [1]. Погрешности определения энергий Гиббса образования гидроксидов рассчитывали по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\sigma_2^2 + \sigma_3^2} \quad (4),$$

где  $\sigma_i$  — погрешности значений энергий Гиббса образования  $Me^{3+}_{aq}$ ,  $OH^-_{aq}$  и соответственно. Все значения энергий Гиббса приводятся с точностью до  $0,01$  кДж моль<sup>-1</sup>, значительно превышающей погрешность определения, как это принято в справочных изданиях [1, 2, 8]. В этом случае при уточнении энергий Гиббса образования  $Me^{3+}_{aq}$ , вносящих основной вклад в погрешности, возможен перерасчет определенных значений.

### Выводы

1. методом кондуктометрического титрования растворов нитратов лантаноидов и иттрия щелочью определены  $pH$  гидратообразования, на основе которых вычислены произведения растворимости и энергии Гиббса образования гидроксидов иттрия, самария, европия в степенях окисления +3.

2. установлено, что  $pH$  гидратообразования в исследованных растворах лантаноидов в среднем равен  $6,48 \pm 0,08$ , а энергия Гиббса

растворения изученных гидроксидов лантаноидов равна  $149,83 \pm 0,90$  кДж моль<sup>-1</sup>. На этом основании оценены энергии Гиббса образования остальных гидроксидов лантаноидов.

### Список литературы:

1. Белоглазов И.Н., Эль-Салим С.З. Обработка результатов эксперимента. «Руда и металлы». 2004. — 142 с.
2. Корольков Д.В., Скоробогатов Г.А.. Основы теоретической химии. М.: Академия. 2004. — 165 с.
3. Лидин Р.А., Андреева А.А., Молочко А.В. // Справочник. Константы неорг. в-в. Изд. «Двора». М. 2006. — 360 с.
4. Равдель А.А., Пономарева А.М. / Краткий справочник физико-химических величин. 2003. — 240 с.
5. Чиркст Д.Э., Лобачева О.Л., Берлинский И.В. Термодинамические свойства гидроксосоединений и механизм ионной флотации церия, европия и иттрия // Журн. физич. химии. № 11. Т. 83. 2009. С. 1—6.
6. Diakonov I.I., Ragnarsdottir K.V., Tegirov B.R. Standard thermodynamic properties and heat capacity equations of rare earth hydroxides: II. Ce(III)-, Pr-Sm-, Eu(III)-, Gd-, Tb-, Dy-, Ho-, Er-, Tm-, Yb-, and Y-hydroxides. Comparison of thermochemical and solubility data // Chemical Geology. 1998. 151 (1—4), P. 327—347.
7. Gassett B.B., Otis J.S., Peter F.A. The influence of various parameters on foam separation // J. Water Pollution Control Fed. 1965. — V. 37. № 4. P. 460—470.
8. Grieves R.B., Charewicz W.R. // Sep.Sci. 1975. — V. 10. № 1. P. 77—92.

## **К ВОПРОСУ О ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АЦЕТАТОВ КАЛИЯ, РУБИДИЯ И ЦЕЗИЯ**

***Надилов Ермурат Галымбекович***

*канд. хим. наук,  
доцент Алматинского университета энергетики и связи,  
г. Алматы*

***Иманбекова Тохтабуби Джумадиловна***

*канд. техн. наук,  
доцент Алматинского университета энергетики и связи,  
г. Алматы  
E-mail: [tanya\\_nespayeva@mail.ru](mailto:tanya_nespayeva@mail.ru)*

***Мустафаева Назира Маматкуловна***

*старший преподаватель  
Алматинского университета энергетики и связи,  
г. Алматы  
E-mail: [sit\\_must@mail.ru](mailto:sit_must@mail.ru)*

## **TO THE QUESTION OF THERMAL STABILITY OF POTASSIUM, RUBIDIUM AND CESIUM ACETATES**

***Ermurat Nadirov***

*candidate of chemical sciences associate professor of Almaty University  
of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty*

***Tokhtabuby Imanbekova***

*candidate of engineering sciences associate professor of Almaty University  
of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty*

***Nazira Mustafayeva***

*senior Lecturer  
of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty*

## АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматриваются вопросы термического разложения ацетатов калия, рубидия и цезия методами термографического и термогравиметрического анализов, рассматриваются два типа разложения ацетатов: кетонное и метанное, впервые определяются плотности и межплоскостные расстояния ацетатов рубидия и цезия.

### ABSTRACT

This article reviews the issues of thermal decomposition of potassium, rubidium and cesium acetates using thermographic and thermogravimetric analysis; ketonic and methane methods of acetates decomposition. For the first time Rubidium and Cesium acetates' density and interplanar spacing figures were defined.

**Ключевые слова:** термическая устойчивость; термограмма; экзоэффекты; пикнометрические методы; эндоэффекты.

**Keywords:** thermal stability; thermogram; exoeffects; pycnometric methods; endoeffects.

Термическая устойчивость и свойства ацетатов калия, рубидия и цезия изучены недостаточно. В работах [1—3] рассмотрены только влияние механизма реакции и структурных факторов на процессы кетонизации и разложения ацетатов щелочных металлов, в частности ацетатов калия, рубидия и цезия.

Изучение свойств ацетатов калия, рубидия и цезия представляет научный и практический интерес в теории комплексообразования.

Результаты исследования образований ацетона при термическом разложении ацетатов описаны в работах [1—3]. В литературе указывается, что продуктом сухой перегонки может быть и метан [3]. Однако, в этих работах мы не обнаружили подробного исследования свойств и структуры разложения ацетатов щелочных металлов. Необходимость такого исследования возникла в связи с введением их (ацетатов  $K, Rb, Cs$ ) в бинарную систему в качестве комплексообразующей компоненты.

Исследованию подвергали готовые препараты заводского изготовления (кроме ацетата цезия). Чистота препаратов была следующая:

- гидрат ацетата калия и ацетат рубидия марки «о.с.ч.»;
- ацетат цезия получали из карбоната цезия марки «о.с.ч.» при обработке его перегнанной уксусной кислотой.

Все ацетаты дополнительно очищались от примесей двойной перекристаллизацией.

Термическую устойчивость ацетатов изучали с помощью пирометра Курнакова ФПК-63. Скорость нагревания 5 град/мин. В качестве эталона брали прокаленную окись алюминия. Пробы исследовали иммерсионным методом на большом универсальном микроскопе  $N_{II}$ . Рентгенограммы снимали на аппарате УРС-50 ИМ в отфильтрованном медном излучении.

Удельный вес (плотность) ацетатов калия, рубидия и цезия определяли пикнометрическим методом [2]. В качестве пикнометрической жидкости брали циклогексан с удельным весом  $0,7758 \text{ г/см}^3$ , причиной такого выбора явилась практическая нерастворимость в нем ацетатов щелочных металлов.

#### 1. Термическая устойчивость гидрата ацетата калия.

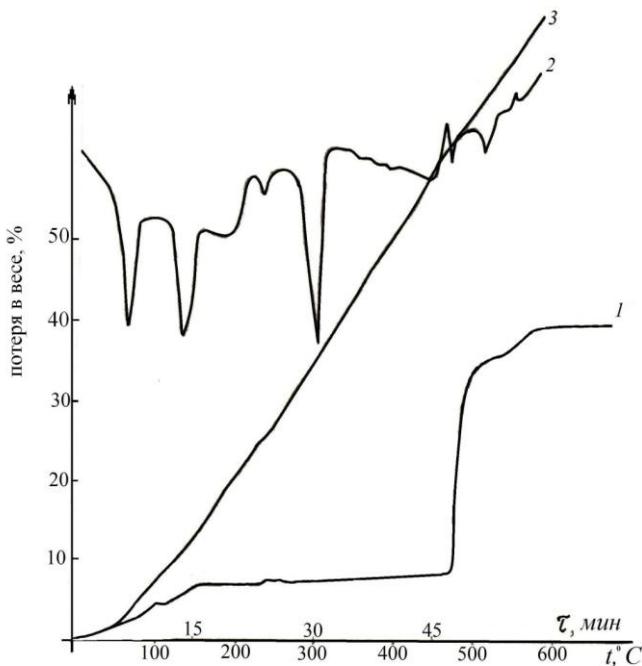
Термическая устойчивость ацетата калия изучалась нами методами снятия термограмм на пирометре Курнакова и весов непрерывного взвешивания. Результаты исследования представлены на рисунке 1 (кривые 1—3).

Обезвоживание ацетата калия протекает ступенчато в интервале температур  $30\text{—}135 \text{ }^\circ\text{C}$ . В начале удаляются молекулы свободной влаги (при температуре  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Этот процесс четко фиксируется на кривой изменения веса и эндоэффектом на термограмме.

Удаление кристаллизационной воды протекает во вторую очередь в интервале  $100\text{—}135 \text{ }^\circ\text{C}$ . В пробе, выдержанной при  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ , под микроскопом обнаруживаются наряду с кристаллами с четкими очертаниями и зерна неопределенных форм с матовой поверхностью. Последние не реагируют на поляризованный свет. Рентгенограммы показали, что фаза аморфна.

Другая фаза безводного ацетата калия кристаллизуется в моноклинной сингонии. Она представлена крупными обломками зерен с белой блестящей поверхностью. Зерна являются агрегатами иглообразных пластинок, с тетрагональными очертаниями, наслаивающихся друг на друга. Полученная коноскопическая фигура соответствует одноосной отрицательной индикатрисе.

Угол  $2\nu = 110^\circ$ . Коэффициенты светопреломления:  
 $N_p = 1,459$ ;  $N_o = 1,472$ .



**Рисунок 1. Термическое разложение  $CH_3COOK \cdot H_2O$ .**  
**1 — кривая изменения веса; 2,3 — термограмма с дифференциальной и простой записью**

Пикнометрическим методом определена плотность  $d_{20^0} = 1,783 \text{ г/см}^3$ .

Межплоскостные расстояния приведены в таблице 1.

Безводный ацетат калия устойчив при нагревании до  $466^\circ\text{C}$ . Выше  $466^\circ\text{C}$  он разлагается с образованием карбоната калия, причем температурный интервал, время и степень разложения зависят от скорости нагревания.

Отщепление  $CH_3COCH_3$  при температуре  $475^\circ\text{C}$  (чему соответствует экзоэффект на термограмме) служит косвенным доказательством относительной прочности связи между парными молекулами. Разложение происходит по схеме:



Таблица 1.

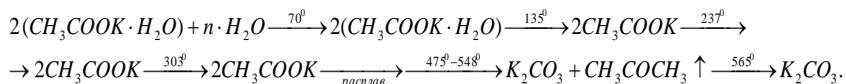
Межплоскостные расстояния одноводного ацетата калия

$J/J_0$ , %	$d/n$ , Å <sup>0</sup>	$J/J_0$ , %	$d/n$ , Å <sup>0</sup>	$J/J_0$ , %	$d/n$ , Å <sup>0</sup>	$J/J_0$ , %	$d/n$ , Å <sup>0</sup>
2,24	1,525	3,92	2,035	2,24	2,827	3,36	4,940
1,68	1,567	4,48	2,136	12,0	3,216	7,56	5,393
1,68	1,597	4,76	2,354	21,80	3,522	100,0	7,020
3,64	1,791	5,04	2,397	11,20	3,950	80,3	7,176
3,36	1,907	6,16	2,490	14,02	4,381	9,19	7,340
7,56	1,948	4,20	2,668	5,32	4,557	79,8	13,095

На термограмме нагревания ацетата калия (рисунок 1, кривые 2,3) наблюдаются пять эндотермических и два экзотермических эффектов. Эндотермические эффекты при 70 °С и 135 °С связаны с дегидратацией соли, а эффекты при 237 °С и 303 °С связаны с превращением вещества в твердом состоянии и плавлением. Экзотермический эффект при 475 °С указывает на разложение ацетата до карбоната калия.

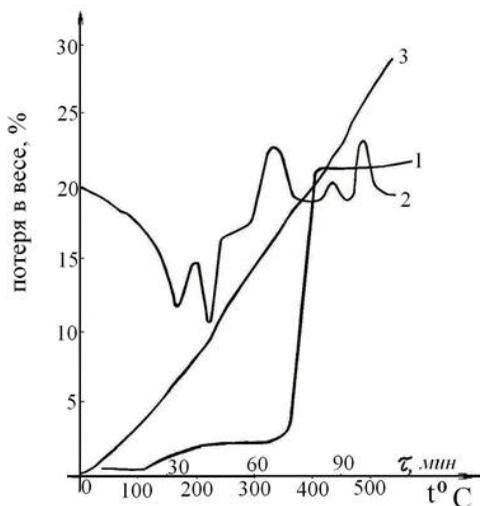
Убыль в весе при нагревании соли до 135 °С соответствует потере адсорбированной и кристаллизационной воды и приводит к полному обезвоживанию. В интервале 100—135 °С уменьшение в весе выражается в 4,38 %, что связано с потерей одной молекулы воды. При дальнейшем нагревании образца от 466 °С до 510 °С наблюдается уменьшение в весе еще на 26,96 %, что указывает на интенсивное разложение ацетата калия, повторное разложение ацетата калия, повторное разложение при 548 °С уменьшает вес соли на 3,52 %.

Общая потеря в весе при разложении выражается в 30,48 %, что подтверждается теоретическими расчетами (29,58 %) при предположении следующей схемы реакции термического разложения:



2. Термическое разложение ацетатов рубидия и цезия.

На рисунке 2 (кривые 2,3) представлена термограмма разложения ацетата рубидия, которая характеризуется наличием двух эндотермических эффектов и трех экзоэффектов.



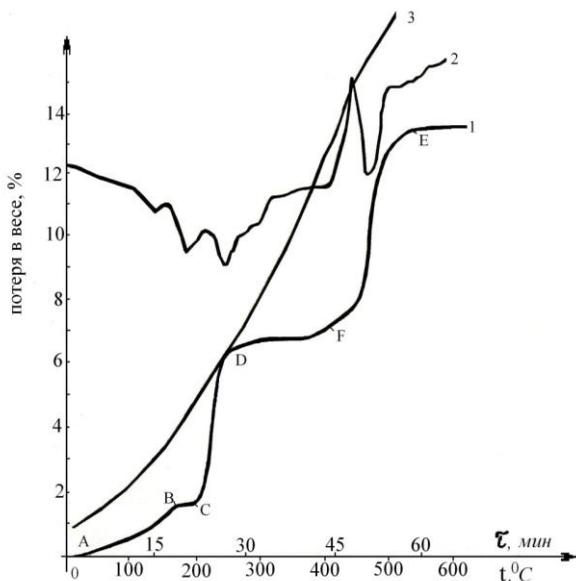
**Рисунок 2. Термическое разложение ацетата рубидия:**  
**1 — кривая изменения веса; 2,3 — термограмма с**  
**дифференциальной и простой записью**

Ацетат рубидия не содержит кристаллизационной воды. Адсорбционная вода удаляется постепенно, начиная от комнатной температуры до 150 °С. Это видно по монотонному спаду кривой дифференциальной записи (рисунок 2, кривая 2) и по кривой потере в весе, 5,4 % (кривая 1). При 169 °С происходит структурное упорядочение, о чем свидетельствуют эндоэффект на термограмме, данные удельной электропроводности и рентгенограммы ацетата рубидия (таблица 2). Соль плавится при 227 °С и начинает разлагаться при 335 °С (экзоэффект на кривой 2 и скачок на кривой 1, соответствующий потере 19,58 %, по видимому, являются эффектами разложения соли на карбонат и ацетон и кипения последнего). Экзоэффекты при 439 °С и 490 °С без потери в весе, возможно, свидетельствуют о перестройках в структуре карбоната рубидия.

Теоретические расчеты потерь в весе при условии разложения ацетата рубидия на карбонат и ацетон дают значения 20,07 %, что хорошо совпадает с экспериментально полученным значением потерь.

На рисунке 3 (кривые 2,3) представлена термограмма разложения ацетата цезия. Как видно из рисунка, потеря воды сопровождается без эффекта, плавным понижением кривой дифференциальной записи. Ацетат цезия не имеет кристаллизационной воды, а происходит

постепенное удаление свободной воды в интервале температур от комнатной до 100 °С.



**Рисунок 3. Термическое разложение  $CH_3COOCs$ .**

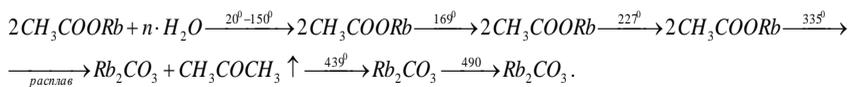
**1 — кривая изменения веса; 2,3 — термограмма с дифференциальной и простой записью**

На термограмме отчетливо проявляются четыре эндоэффекта и один экзоэффект. Эндоэффект при 136 °С соответствует полиморфному превращению ацетата цезия в твердом состоянии. Это подтверждается данными удельной электропроводности и рентгенограммами, снятыми до и после эффекта. Пробы были выдержаны по пол-часу при температурах 125 °С и 145 °С в автоклаве. Рентгенограммы различаются не только интенсивностью линий, но и их положением. Эндоэффект при 180 °С соответствует плавлению чистой соли, и при 241 °С происходит эффект разложения, а эндоэффект при 450 °С указывает на выгорание продукта разложения.

Кривая потери в весе в начальном участке АВ (рисунок 3, кривая 1) имеет монотонный характер подъема, что связано с уходом адсорбированной воды (1,45%). В области CD скачкообразное изменение потерь (5,21%) указывает на процесс разложения соли. На участке DF в интервале температур 241—420 °С получается термически устойчивый состав. Выше 450 °С на отрезке FE идет интенсивное повторное разложение продуктов (6,67%), т. е. дальнейшее выгорание угля. Экспериментальные данные суммарных потерь в весе соответствуют 11,88%.

Расчеты дают удовлетворительную сходимость с данными эксперимента при предложении разложения соли по схеме с образованием карбоната, газообразного метана, углистой фракции и воды. Потеря в весе при полном выгорании метана и удаления воды равна по расчету 9,52% и при учете выгорания угля 13,26%.

Таким образом, термические разложения ацетатов рубидия и цезия происходят по следующим схемам:



Как видно из сопоставления результатов термограмм и кривых потерь в весе ацетатов рубидия и цезия, характер разложения их различен. Ацетат цезия разлагается при более низкой температуре и процесс протекает в две стадии 210—240 °С и 405—525 °С. Если схема разложения ацетата рубидия похожа на разложение других ацетатов (*Li*, *K*, *Zn* и т. д.), то ацетат цезия разлагается иначе, и схема разложения подобна процессу разложения ацетата натрия.

Характер связи в ацетате цезия по сравнению с ацетатом рубидия выражен несколько слабее (вследствие значительной разницы в поляризующих действиях ионов  $Rb^+$  и  $Cs^+$ ), устойчивость ацетатов невелика, хотя вполне достаточна, чтобы измерить проявление индивидуальных свойств солей до температуры разложения.

Соли ацетата рубидия и цезия сильно гигроскопичны, и рассмотреть кристаллы под микроскопом не удается, вследствие разрушающего действия молекул воды. Однако нам удалось измерить

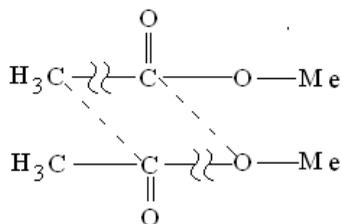
плотность и снять рентгенограммы солей. Плотность ацетата рубидия по четырем измерениям оказалась равной  $2,061 \text{ г/см}^3$ , ацетата цезия —  $2,423 \text{ г/см}^3$ . Межплоскостные расстояния приведены в таблице 2.

**Таблица 2.**

**Межплоскостные расстояния ацетатов рубидия и цезия**

$CH_3COORb$		$CH_3COOCs$	
$J/J_0$ , %	$d/n$ , %	$J/J_0$ , %	$d/n$ , %
20,0	1,575	100,0	1,717
15,0	1,718	3,28	1,818
10,0	1,881	15,7	1,952
16,6	2,171	81,5	2,285
43,3	2,277	3,28	2,380
63,5	2,494	34,2	2,516
6,66	2,690	3,94	2,776
23,3	2,869	5,26	3,026
16,6	2,958	5,26	3,080
13,2	3,365	72,3	3,421
100,0	3,533	9,21	4,509
30,0	3,888	75,0	6,766
13,3	4,093	31,5	7,442
16,6	4,588	14,4	10,57

Таким образом, в стадии разложения ацетатов калия и рубидия из двух молекул ацетата образуется четырехчленный активированный молекулярный комплекс, имеющий вид, приведенный на рисунке 4, причем пунктиром показаны образующиеся связи, а волнистым значком  $\approx$  рвущиеся при распаде этого активированного комплекса. Структура комплекса такова, что его стабильность в значительной степени является функцией ионного радиуса металла, т. е. зависит от поляризующего действия иона металла. Комплекс распадается с образованием ацетона и карбоната.



**Рисунок 4. Четырехчленный активированный молекулярный комплекс**

Наличие воды в конечных продуктах разложения ацетата цезия, в проведенных нами опытах, подтверждает мнение, что решающее влияние на метанное разложение ацетата может оказать присутствие следов воды. Однако, в процессе разложения и конечных продуктах нами  $CO_2$  не обнаружен. Поэтому мы склонны думать, что схема термического разложения с образованием метана +  $CO_2$  не применима к процессу распада цезия.

#### **Список литературы:**

1. Пантелеев И.А., Семенов С.Г., Глебовский Д.Н. Природа мостиковых связей в димерах ацетатов лития и калия // ЖОХ. — 2005. — т. 75. вып. 9. 1479—1484 с.
2. Рубинштейн А.М., Якерсон В.И. Процессы кетонизации и разложения ацетатов щелочных металлов // Кинетика и катализ. — 1960. — вып. 30. 2789 с.
3. Якерсон В.И., Рубинштейн А.М. Процессы кетонизации и разложения ацетатов щелочных металлов // Кинетика и катализ. — 1960. — вып. 2 1961. — 181 с.

**ИНФРАКРАСНЫЕ СПЕКТРЫ  
ПОГЛОЩЕНИЯ АЦЕТАТОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРВОЙ  
И ВТОРОЙ ГРУПП ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
И ПРОДУКТОВ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

***Надиоров Ермурат Галымбекович***

*канд. хим. наук,  
доцент Алматинского Университета Энергетики и Связи,  
г. Алматы*

***Мустафаева Назира Маматкуловна***

*старший преподаватель  
Алматинского Университета Энергетики и Связи,  
г. Алматы  
E-mail: [sit\\_must@mail.ru](mailto:sit_must@mail.ru)*

***Иманбекова Тохтабуби Джумадиловна***

*канд. техн. наук,  
доцент Алматинского Университета Энергетики и Связи,  
г. Алматы  
E-mail: [tanya\\_nespayeva@mail.ru](mailto:tanya_nespayeva@mail.ru)*

**INFRARED ABSORPTION SPECTRA OF ACETATES  
ELEMENTS OF FIRST AND SECOND GROUP  
OF THE PERIODIC SYSTEM AND PRODUCTS  
OF THEIR INTERACTION**

***Nadirov Ermurat***

*candidate of chemical sciences associate professor  
of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty*

***Mustafaeva Nazira***

*senior Lecturer  
of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,  
Almaty*

***Imanbekova Toktabuly***  
*candidate of engineering sciences associate professor*  
*of Almaty University of Power Engineering and Telecommunications,*  
*Almaty*

### АННОТАЦИЯ

Предпринята попытка установить определённые закономерности в спектрах ацетатов металлов и их двойных смесях, позволяющие судить о степени ионности связи металл-кислород, координационном числе металла, комплексообразовании и некоторых других особенностях строения солей. Сопоставлены ИК-спектры поглощения ацетатов первой и второй группы периодической системы элементов и их производных. Сделаны заключения о причинах смещения полос ацетатного иона.

### ABSTRACT

An attempt was made to establish certain patterns in the spectra of metal acetates and their binary mixtures that would reveal the degree of ionic character of the metal-oxygen coordination number of the metal complexation and some other features of the structure of salts. Compared IR absorption spectra acetates first and second groups of the periodic system of the elements and their derivatives. Conclusions about the causes of bias strips of acetate ion.

**Ключевые слова:** спектр; ацетат металлов; частота валентных колебаний; ионный радиус металла; симметричные и антисимметричные колебания.

**Keywords:** spectrum, metal acetate, the frequency of stretching vibrations, the ionic radius of the metal, the symmetric and antisymmetric vibrations.

Исследования влияния природы металла на положение частот ионизированной карбонильной группы приводилось рядом авторов на примерах солей различных производных уксусной кислоты, главным образом, аминоксусной и этилендиаминотетрауксусной кислот [1—2]. Согласно этим исследованиям связь металл-кислород должна быть преимущественно электрической, ионной которая должна привести к повышению частоты симметричного валентного колебания С-О, ковалентной, если рассматривать разность частот симметричного и антисимметричного колебаний связей С-О как меру ковалентности связи металл-кислород.

По мнению некоторых авторов [1—2] такой подход к анализу комплексообразования с участием карбоксильных групп далеко

не исчерпывает всей сложности явлений, обнаруживаемых, в ИК-спектрах. На характере солей уксусной кислоты и её производных не могут не отражаться, помимо степени ионности связи металл-кислород, другие разнообразие структурные факторы, например, связанные с координационным числом и направлением валентностей металла-комплексообразователя, расположением ацетатных групп по отношению к атомам металла, пространственными затруднениями.

Нами предпринята попытка установить определённые закономерности в спектрах ацетатов металлов и их двойных смесях, позволяющие судить о степени ионности связи металл-кислород, координационном числе металла, комплексообразовании и некоторых других особенностях строения солей. Сопоставлены ИК-спектры поглощения ацетатов первой и второй группы периодической системы элементов и их производных. Сделаны заключения о причинах смещения полос ацетатного иона. Спектры получены в области частот 400—3400  $\text{См}^{-1}$  на инфракрасном спектрофотометре ИР-20 с призмами из  $\text{RBz}$ ,  $\text{NaCl}$  и  $\text{LiF}$ . Образцы готовились в каждом случае как прессованием с бромистым калием, так и растиранием вазелиновым маслом. В обоих случаях получены практически совпадающие спектры.

Волновые числа поглощения, найденные в спектрах, а так же соответствующие частоты предполагаемых комплексных соединений ацетатов щелочных металлов с ацетатом цинка и кадмия представлены в таблице 1. При расщеплении полосы в соответствующей колонке приведено несколько значений частот, причём, значение соответствующее пику, подчёркнуто снизу. Репродукции спектров приведены на рисунках 1 и 2. Из анализа проведённых исследований можно сказать, что с уменьшением порядкового номера элементов щелочного ряда, частоты валентных колебаний связей  $\text{C-O}$  (симметричного и антисимметричного),  $\text{C-C}$  и  $\text{C-H}$  (антисимметричного) возрастают. При переходе от одной соли к другой частоты симметричного и антисимметричного валентных колебаний связей  $\text{C-O}$  изменяются на различную величину. Разность частот  $\Delta\nu = \nu_8 - \nu_3$  имеет максимальное значение в случае ацетата калия — соединения с полностью ионизированной ацетатной группой (таблица 1). С уменьшением ионного радиуса металла наблюдается сближение частот колебаний связей  $\text{C-O}$ . Наблюдаемое уменьшение разности частот  $\Delta\nu$ , по нашему предположению, можно объяснить тем, что в указанных соединениях угол  $\text{OCO}$  в карбоксиле уменьшается с уменьшением ионного радиуса металла. В случае предполагаемого комплекса увеличивается число  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  во внутренней сфере вокруг координационного центрального катиона, при этом тоже уменьшается угол  $\text{OCO}$ . По расчёту уменьшение угла  $\text{OCO}$  вызывает также увеличение

частоты деформационного колебания  $\text{CO}_2$ . Увеличение степени ковалентности связи металл-кислород всё-таки приводит к резкому изменению типа структуры солей. Для некоторых ацетатов доказано существование мостиковых групп [1].

При образовании мостиков угол  $\text{OCO}$  ацетатного иона увеличивается по сравнению с углом ацетатного иона, образующего координационные связи только с одним ионом металла. Такое возрастание угла  $\text{OCO}$  приводит к резкому росту частоты антисимметричного валентного колебания связей  $\text{C-O}$ , а частота симметричного колебания, наоборот, несколько уменьшается.

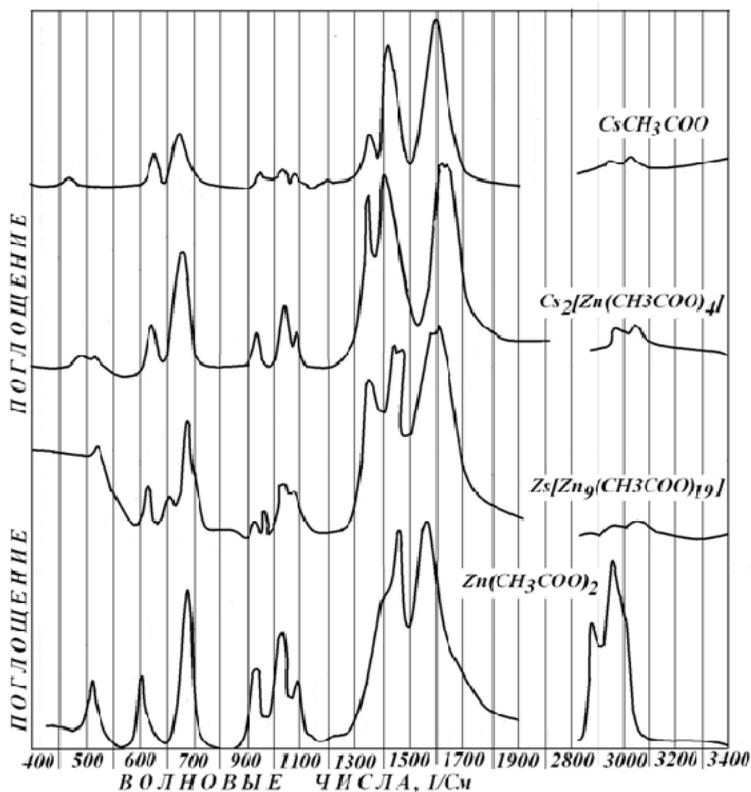
В спектре предполагаемого соединения  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_4]$  действительно наблюдается резкий рост частоты антисимметричного валентного колебания с 1561 (ацетат цинка), 1592 (ацетат натрия) до 1635 и 1612  $\text{См}^{-1}$  соответственно, причём происходит расщепление частоты. Наблюдаемое в спектрах расщепление частот объясняется присутствием в комплексе нескольких (больше двух) ацетатанионных групп. Разность  $\Delta\nu$  достигает значений 220  $\text{См}^{-1}$ . Что касается частот деформационного колебания  $\text{CO}_2$  и здесь наблюдается значительный сдвиг в область больших частот. Антисимметричные валентные колебания ацетатов натрия (2950 и 3018) и цинка (2874, 2944 и 2963) по интенсивности довольно значительны, но у полученного соединения заметен сдвиг частот в большую сторону (2952 и 3037), кроме того интенсивность сильно снижена.

Таким образом изменения частот деформационных и валентных колебаний  $\text{CO}_2$  говорят в пользу образования нового соединения  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_4]$ .

Спектр ацетата цинка постепенно изменяется с добавлением ацетата цезия. При концентрации ацетата цезия 66,7 мол. % появляются линии новых частот (1600, 1625  $\text{См}^{-1}$ ) (рисунок 1). В области деформационных колебаний  $\text{CO}_2$  наблюдается резкое смещение линии в область больших частот (703  $\text{См}^{-1}$ ). Дальнейший рост концентрации ацетата цезия не даёт изменений в спектре. Факт появления новых частот позволяет постулировать присутствие новых многоатомных частиц. Для подтверждения нами сняты спектры расплава при составе 66,7 мол. % ацетата цезия. В спектре наблюдались все ожидавшиеся основные и дополнительные частоты, соответствующие этому же составу при низких температурах. Чтобы объяснить изменения спектра, по-видимому, достаточно допустить образование нового соединения отличного от исходных ацетатов.

При добавлении ацетата цезия к ацетату цинка появляются новые линии, которые становятся доминирующими при эквимолярном составе

расплава. Предполагается, что в этих расплавах существует устойчивый молекулярный ион  $[\text{Zn}_2(\text{CH}_3\text{COO})_7]^{3-}$ . Дающий две комбинационно активных частоты в зависимости от конфигурации. При уменьшении концентрации ацетата цезия в области 10 мол. % наблюдается явное расщепление полосы антисимметричных частот на три линии с частотами 1560, 1588 и 1618  $\text{См}^{-1}$  и симметричных колебаний на 1397 и 1415  $\text{См}^{-1}$  (рисунок 1). Спектр смеси  $9\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{CH}_3\text{COO}\text{Cs}$  мы объясняем тем, что возмущающее действие ионного окружения может быть разделено на возмущения производимые симметричными и несимметричными полями. Если симметрия окружения отвечает точечной группе, то изменения в межмолекулярных взаимодействиях могут проявиться как малые изменения частот и контура спектра.

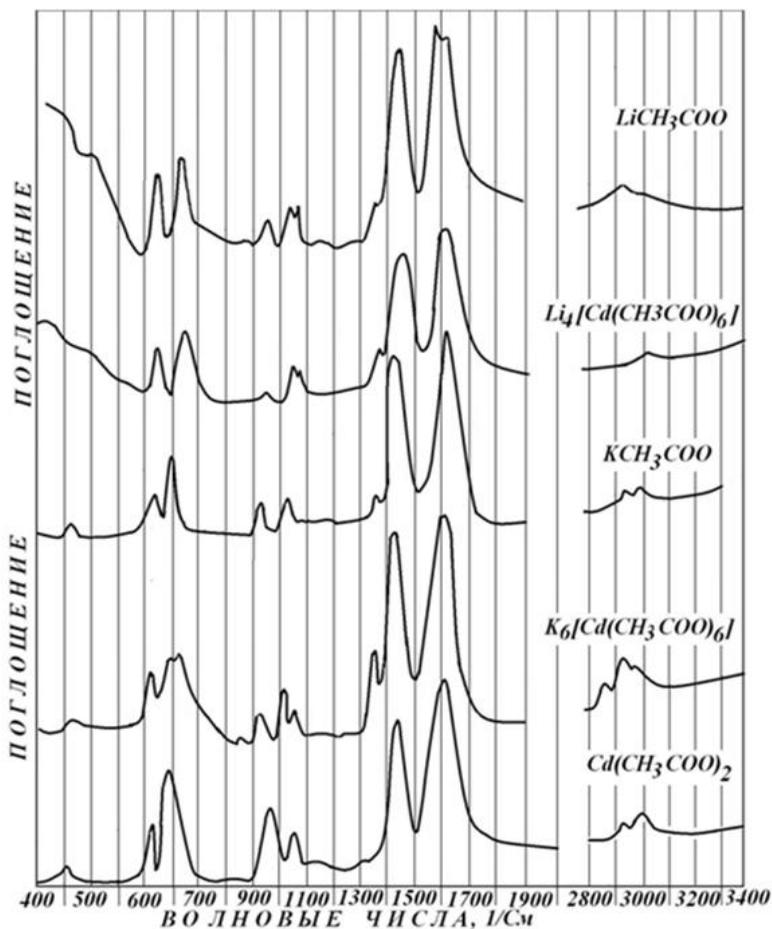


**Рисунок 1. ИК- спектры поглощения соединений ацетата цезия с ацетатом цинка**

Если симметрия окружена меньше, т. е. анион теряет способность свободно вращаться, и находится под действием несимметричного поля, то возмущения такого типа могут привести к исчезновению вырождения колебаний (приведут к расщеплению соответствующих линий в спектре — в нашем случае симметричные и антисимметричные валентные колебания) или к исчезновению некоторых частот. Следует отметить, что характерные полосы поглощения ацетата цинка в области  $2870 \text{ см}^{-1}$  исчезли полностью в смесях 10 и 66,7 мол.% ацетата цезия, а полоса  $2950 \text{ см}^{-1}$  по интенсивности уменьшилась в несколько раз (рисунок 1). Полосы поглощения соответствующие  $652$  и  $1110 \text{ см}^{-1}$  у ацетата цинка, в спектрах смеси тоже исчезли полностью. Отсутствие полос можно интерпретировать как сильное ослабление внешних деформационных колебаний координированных ацетатных групп и усиление степени ионности смеси.

В таблице 1 и на рисунке 2 сопоставлены области поглощения в инфракрасных спектрах  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  группы координированной во внутренней сфере предполагаемых комплексов- иона  $\text{Cd}^{2+}$ , а во внешней —  $\text{Li}^+$ ,  $\text{K}^+$ . Из сопоставления можно сделать вывод, что положение полос поглощения деформационных колебаний  $\text{CO}_2$ , антисимметричных и симметричных валентных колебаний C-H мало зависит от вида соединения, зато у соли состава  $4\text{CH}_3\text{COO Li} \cdot \text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  наблюдается смещение полос в области  $2958$  и  $3032 \text{ см}^{-1}$  с сильным уменьшением интенсивности. Линия частоты характерная для ацетата лития в области  $2878 \text{ см}^{-1}$  не обнаруживается в спектре смеси. Волновые числа максимумов полос поглощения ацетата кадмия с ацетатами лития и калия, изученными в данной работе, приводятся в таблице 1 и на рисунке 2. Сдвиги частот валентных и деформационных колебаний связи C-O и  $\text{CO}_2$  вычисляли по отношению к соответствующей частоте в спектре исходных ацетатов лития и калия. Как видно из рисунка 2, результаты сравнения полос поглощения смесей ацетатов склоняют в пользу образования химических соединений. Основные характеристичные частоты сохраняют свою интенсивность и положение. В спектре  $4\text{CH}_3\text{COO Li} \cdot \text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  наблюдаем сдвиг полосы в области  $685 \text{ см}^{-1}$  на  $\Delta\nu = 16 \text{ см}^{-1}$  и исчезновение полосы с частотой  $2878 \text{ см}^{-1}$ , а интенсивности полос поглощения, соответствующие частотам  $2943$ ,  $3030 \text{ см}^{-1}$  сильно снизились. В спектре  $6\text{CH}_3\text{COOK} \cdot \text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  наблюдается расщепление полосы поглощения деформационного колебания  $650 \text{ см}^{-1}$  на две полосы с частотами  $650$  и  $675 \text{ см}^{-1}$ , причём вторая дополнительная полоса по интенсивности не уступает основной.

В области антисимметричной валентности С-Н возникла новая полоса  $2870 \text{ см}^{-1}$  и интенсивность полос несколько повысилась.



**Рисунок 2.** ИК-спектры поглощения ацетатов лития, калия и их соединений с ацетатом кадмия

По видимому, эти факты свидетельствуют об увеличении свойства аниона к поляризации. Под действием большого числа катионов увеличивается угол  $\text{OSO}$  и сильно деформируется ацетат-анион. Разность частот  $\Delta\nu = \nu_8 - \nu_3$  исследуемых смесей больше  $225 \text{ см}^{-1}$ ,

то есть связь кадмия с кислородом в них преимущественно ковалентна. Таким образом, соответствующие смеси ацетатов лития, калия с ацетатом кадмия идентифицированы как комплексные соединения. Положение полос поглощения  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  группы в инфракрасных спектрах комплексных соединений указанных веществ, содержащих  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  группу во внутренней сфере в общем зависит от типа комплекса, от природы атома комплексообразования и от числа координированных  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  групп. Хотя, основные частоты комплексов, как и исходных ацетатов, являются характеристическими частотами. Обращает на себя внимание тот факт, что с увеличением прочности связи металл-ацетат-анион уменьшается деформационная частота  $\nu_5$ . Остальные частоты в ряду систем изменяются менее закономерно. Вопрос о том каким образом изменяются частоты деформационных колебаний  $\text{CO}_2^-$  и антисимметричных валентных C-H ( $\nu_7$ ) связано с изменением прочности связи металл-ацетат-анион далеко не является решённым. Поэтому, констатируя определённую закономерность в изменении тех или иных колебаний  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ , лучше говорить об изменении состояния сложного аниона в зависимости от строения комплекса, отложив рассмотрение вопроса о природе такого состояния до накопления большего числа экспериментальных данных.

Выводы:

1. Описаны инфракрасные спектры ацетатов щелочных металлов, цинка, кадмия и следующих семи кристаллических соединений:  $\text{K}_8[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_{10}]$ ,  $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_4]$ ,  $\text{Li}_4[\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_6]$ ,  $\text{K}_6[\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_8]$ ,  $\text{Li}[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_3]$ ,  $\text{Cs}[\text{Zn}_9(\text{CH}_3\text{COO})_{19}]$ ,  $\text{Cs}_2[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_4]$  и произведено отнесение частот.

2. Сопоставлены области поглощения частот основных колебаний  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  группы в ацетатных смесях и по результатам сравнения последние идентифицированы как индивидуальные химические соединения.

Таблица 1.

**Важнейшие частоты, найденные в инфракрасных спектрах поглощения ацетатов металлов первой и второй групп и их соединений**

Соединения	Валентные С-О		Валентные С-С	Деформ. CO <sub>2</sub>	Антисим Валент. С-Н,	Маятников. CO <sub>2</sub>	Деформ. CH <sub>3</sub>
	Анти-сим.	Сим-метр.					
	$\nu_8$	$\nu_3$	$\nu_4$	$\nu_5$	$\nu_7$	$\nu_{11}$	$\nu_9, \nu_{10}, \nu_{13}, \nu_{14}$
CH <sub>3</sub> COONa	<u>1592</u>	<u>1440</u>	<u>930</u>	<u>655</u>	<u>2874</u>	<u>467</u>	<u>1440, 1051</u>
				<u>625</u>	<u>2950</u>		<u>1020, 1260</u>
					<u>3018</u>		<u>1310, 930</u>
							<u>1353</u>
Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	<u>1561</u>	<u>1469</u>	<u>962</u>	<u>670</u>	<u>2874</u>	<u>527</u>	<u>1110, 1055</u>
		<u>1424</u>		<u>632</u>	<u>2944</u>		<u>1026, 962</u>
					<u>2963</u>		
Na <sub>2</sub> Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>4</sub>	<u>1612</u>	<u>1415</u>	<u>941</u>	<u>680</u>	<u>2952</u>	<u>516</u>	<u>1059</u>
	<u>1635</u>	<u>1355</u>		<u>628</u>	<u>3037</u>	<u>507</u>	<u>1030</u>
		<u>1342</u>				<u>475</u>	<u>941</u>
CH <sub>3</sub> COOCs	<u>1590</u>	<u>1418</u>	<u>938</u>	<u>627</u>	<u>2945</u>	<u>470</u>	<u>1027, 1057</u>
		<u>1347</u>		<u>653</u>	<u>2993</u>		<u>1125, 1158</u>
				<u>670</u>	<u>3010</u>		<u>1188</u>
Cs[Zn <sub>9</sub> (CH <sub>3</sub> COO) <sub>19</sub> ]	<u>1560</u>	<u>1342</u>	<u>936</u>	<u>616</u>	<u>2958</u>	<u>527</u>	<u>1342, 1408</u>
	<u>1588</u>		<u>960</u>	<u>678</u>	<u>3017</u>		<u>1460, 1034</u>
	<u>1628</u>			<u>703</u>			<u>1057, 1230</u>
Cs <sub>2</sub> [Zn (CH <sub>3</sub> COO) <sub>4</sub> ]	<u>1600</u>	<u>1397</u>	<u>934</u>	<u>623</u>	<u>2950</u>	<u>490</u>	<u>1397, 1415</u>
	<u>1625</u>	<u>1417</u>	<u>1025</u>	<u>673</u>	<u>3021</u>	<u>507</u>	<u>1340</u>
			<u>1057</u>				
CH <sub>3</sub> COOLi	<u>1586</u>	<u>1455</u>	<u>952</u>	<u>628</u>	<u>2878</u>	<u>492</u>	
	<u>1600</u>	<u>1355</u>	<u>1035</u>	<u>669</u>	<u>2943</u>		
	<u>1622</u>		<u>1062</u>		<u>3030</u>		
Li[Zn (CH <sub>3</sub> COO) <sub>3</sub> ]	<u>1594</u>	<u>1316</u>	<u>950</u>	<u>648</u>	<u>2680, сл.</u>	<u>537</u>	
	<u>1630</u>	<u>1347</u>	<u>1035</u>	<u>690</u>	<u>2950, сл.</u>		
		<u>1405</u>	<u>1060</u>				
	<u>1460</u>						
CH <sub>3</sub> COOK	<u>1592</u>	<u>1345</u>	<u>927</u>	<u>626</u>	<u>2950</u>	<u>466</u>	<u>1126</u>
		<u>1415</u>	<u>1020</u>	<u>650</u>	<u>3010</u>		<u>1156</u>
			<u>1054</u>				<u>1188</u>
K <sub>8</sub> [Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>10</sub> ]	<u>1598</u>	<u>1342</u>	<u>923</u>	<u>628</u>	<u>2870</u>	<u>462</u>	<u>1255</u>
		<u>1415</u>	<u>940</u>	<u>650</u>	<u>2950</u>	<u>495</u>	
			<u>1024</u>	<u>675</u>	<u>3010</u>	<u>520</u>	
			<u>1058</u>				

$\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	1588	1445	930	625	2952	467	1126
			1020	<u>655</u>	3020		1155
			1052				1188
							1305
$\text{Li}_4[\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_8]$	1590	1355	953	628	2956		1126
		1437	1032	<u>685</u>	3030		1155
			1060				1188
$\text{K}_6[\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_8]$	1592	1350	927	627	2869	470	1126
		<u>1415</u>	1025	<u>650</u>	<u>2943</u>		1155
			1055	670	2990		1188
					3020		1250
$\text{CH}_3\text{COORb}$	1590	1416	930	625	2950	467	1022,1051
		1353		<u>653</u>	2998		1120,1135
		1445			3018		1155,1187

### Список литературы

1. Пантелеев И.А., Семенов С.Г., Глебовский Д.Н. Природа мостиковых связей в димерах ацетатов лития и калия // ЖОХ. — 2005. — т. 75. вып. 9. 1479—1484 с.
2. Пантелеев И.А., С.Г. Семёнов, Д.Н. Глебовский Проявление особенностей элементов первой группы периодической системы в свойствах и их стеклообразных солей в мезофаз // Труды III научной сессии УНЦХ СПбГУ. СПб. 27—28 октября. 2004. с. 325—326.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

**Хентов Виктор Яковлевич**

*профессор, д-р хим. наук,  
Южно-Российский государственный технический университет,  
г. Новочеркасск  
E-mail: [vkhentov@mail.ru](mailto:vkhentov@mail.ru)*

**Сёмченко Владимир Владимирович**

*доцент, канд. хим. наук,  
Южно-Российский государственный технический университет,  
г. Новочеркасск  
E-mail: [themodan@nm.ru](mailto:themodan@nm.ru)*

**Хуссейн Ханаа Хассан**

*аспирант,  
Южно-Российский государственный технический университет,  
г. Новочеркасск*

## THE USE OF DONOR-ACCEPTOR SYSTEMS FOR THE EXTRACTION OF METALS FROM INDUSTRIAL WASTE

***Khentov Viktor***

*doctor of Chemistry,  
Professor of South-Russian State Technical University,  
Novochoerkassk*

***Semchenko Vladimir***

*candidate of Science,  
assistant professor of South-Russian State Technical University,  
Novochoerkassk*

***Hussain Hanaa***

*postgraduate, South-Russian State Technical University, Novochoerkassk*

## АНОТАЦИЯ

Реакционная способность донорно-акцепторных систем использована для извлечения переходных металлов из техногенных отходов и бедного рудного сырья. Важная роль в донорно-акцепторном взаимодействии отводится неводным растворителям.

## ABSTRACT

The reactivity of the donor-acceptor systems used to extract transition metals from industrial waste and poor ore. Important role in the donor-acceptor interaction is given a non-aqueous solvents.

**Ключевые слова:** донорно-акцепторные системы; неводные растворители; структурные параметры твердого тела; мицеллярный катализ; критическая концентрация мицеллообразования.

**Keywords:** donor-acceptor system; non-aqueous solvents; solid structural parameters; micellar catalysis; critical micelle concentration.

Накопление техногенных отходов достигло гигантских размеров. Они занимают огромные площади. Это отвалы горнодобывающей промышленности; отходы абразивной обработки металлов; пылевые выбросы промышленных предприятий, содержащих значительные количества ценных металлических элементов и их химических соединений; отходы выработавших свой ресурс катализаторов промышленности органического синтеза. Важно заметить, что в техногенных отходах содержатся в значительных количествах металлические элементы, как в виде нуль-валентных металлов, так и их соединений с ковалентными связями. Геологи называют техногенные отходы техногенными залежами. Существующие сегодня гидрометаллургические методы исчерпали свои возможности, в особенности для переработки бедного рудного сырья.

Для исследования выбраны *d*-элементы и их соединения, содержащиеся в техногенных отходах. По химическому составу — это металлы и малорастворимые в воде их соединения (оксиды, сульфиды, карбонаты, фосфаты).

Обработку металлов в виде пластины размером 30×20×1 мм с общей площадью поверхности 13 см<sup>2</sup> (рассчитана как сумма площадей всех граней прямоугольного параллелепипеда) и дисперсных частиц, а также и их соединений проводили в растворах лиганда объемом 60 мл при работающей пропеллерной мешалке (200 об·мин<sup>-1</sup>). В качестве растворителя использовали N,N-диметилформамид. Для определения эффективной площади поверхности дисперсных частиц с помощью измерительного микроскопа проводили измерение

их размеров, строили гистограмму и находили наивероятнейшее значение эффективного диаметра частицы. Это позволило вычислить удельную площадь поверхности порошка и рассчитать суммарную площадь порошка каждой навески. Скорость химической реакции ( $\text{моль} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ ) рассчитывали с учетом суммарной поверхности компактного или порошкообразного образца.

Определение концентрации раствора полученного комплексного соединения проводили по оптической плотности раствора. Предварительно строили калибровочные зависимости оптической плотности от концентрации комплексного соединения. Для этого синтезировали комплексные соединения по классическим методикам. Для идентификации комплексных соединений, полученных по классическим методикам и в настоящей работе, снимали ИК-спектры в интервале частот  $3700\text{—}400 \text{ см}^{-1}$ . Одновременно определяли потерю массы исследуемых образцов.

Металлы реагируют с растворами лиганда в апротонном растворителе только при доступе кислорода воздуха, в атмосфере азота химическое взаимодействие прекращается.

Вначале было обнаружено, что высокодисперсная и компактная медь самопроизвольно и эффективно взаимодействует с салицилальанилином (2-окси-1-бензилиденанилином) в неводных растворителях [3]. Затем экспериментально было установлено донорно-акцепторное взаимодействие меди, никеля и их труднорастворимых соединений (соединений с ковалентными связями) с салицилальанилином в диметилформамиде [5]. Реакция протекала без специально введенного в донорно-акцепторную систему окислителя. Было установлено, что роль окислителя играет растворенный в неводном растворителе кислород.

Значительная роль в донорно-акцепторном взаимодействии отводится неводному растворителю. Экспериментально установлена тесная связь константы скорости донорно-акцепторного взаимодействия меди с салицилальанилином  $k$  и параметра полярности растворителя Димрота-Райхардта  $E_T$  [3]:

$$\ln k = aE_T + b,$$

где:  $a$  и  $b$  — эмпирические коэффициенты.

Выделяются зависимости для растворителей, содержащих кислород и растворителей, не содержащих кислород (табл. 1). Аналогичные зависимости найдены и для других металлов.

Таблица 1.

**Корреляционные зависимости  $\lg k = f(E_T)$ ,  
коэффициент корреляции R**

Зависимости $\lg k = f(E_T)$	R	Примечания
$\lg k = -10,274 + 0,191E_T$	0,897	Для всех растворителей
$\lg k = -14,433 + 0,313E_T$	0,983	Растворители, не содержащие кислород
$\lg k = -10,493 + 0,187E_T$	0,966	Растворители, содержащие кислород

Можно утверждать, что реакционная способность лиганда в полярных растворителях заметно возрастает. Электрофильность растворителя играет важнейшую роль.

Эффективно происходит взаимодействие ковалентных соединений меди и других переходных металлов с лигандом салицилальанилином, растворенным в диметилформамиде (табл. 2) [6].

Таблица 2.

**Скорость взаимодействия V, энергия активации  $E_a$**

Соединение	$V \cdot 10^6$ , моль/(см <sup>2</sup> ·ч)	$E_a$ , кДж/моль
CuO	0,50	71,0
Cu(OH) <sub>2</sub>	14,85	19,5
(CuOH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	18,80	43,3
CuS	1,29	38,9

Также эффективно удается извлекать переходные металлы из рудного сырья (табл. 3) [1, 6, 7].

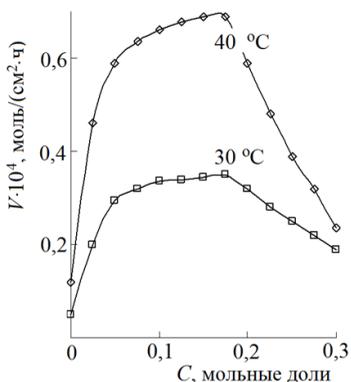
Таблица 3.

Скорость извлечения металла  $V$  (моль/г·ч),  
энергия активации  $E_a$  (кДж/моль), степень извлечения  $\alpha$  (%)

Рудное сырье	Формула	$V \cdot 10^5$	$E_a$	$\alpha$
Халькопирит	$\text{CuFeS}_2$	64,00	53±2	37,61
Халькозин	$\text{Cu}_2\text{S}$	148,00	18,3±1	81,39
Ковеллин	$\text{CuS}$	76,00	38,9±2	85,60
Борнит	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4$	22,00	117±3	47,60
Куприт	$\text{Cu}_2\text{O}$	19,00	36±1	63,33
Тенорит	$\text{CuO}$	59,00	68±2	70,60
Малахит	$(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$	24,00	43±4	79,89
Шпинель	$\text{CuFe}_2\text{O}_4$	3,33	171±3	72,47
Гематит	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,75	98±2	76,70
Магнетит	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	0,13	87±3	69,59
Сидерит	$\text{FeCO}_3$	1,50	69±2	72,34
Ванадит	$\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$	58,00	45±4	50,71
Аргентит	$\text{Ag}_2\text{S}$	183,00	-	76,00

Повышенный интерес вызывает использование смешанных растворителей, особенно, продуцирующих протоны. Зависимость скорости  $V$  взаимодействия компактной меди с 0,01 М раствором салицилаланилина в диметилформамиде в функции концентрации воды  $C$  ярко демонстрирует рис. 1. Эти зависимости связаны с изменением сольватации лиганда в смешанном растворителе.

Существует еще один эффективный прием повышения скорости донорно-акцепторного процесса. В последнее время повышенное внимание уделяется микрогетерогенным организованным средам на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) [2]. Это среды, в которых при определенных концентрациях ПАВ происходит образование мицелл.



**Рисунок 1. Скорость донорно-акцепторного взаимодействия в функции концентрации воды**

Появление в воде мицелл ПАВ позволяет организовать процесс мицеллярного катализа. Это становится возможным при концентрациях превышающих критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ). В неводных средах значение ККМ возрастают на несколько порядков. В качестве ПАВ использовался неионогенный оксиэтилированный изооктилфенол  $\text{RC}_6\text{H}_4\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$ , где  $n = 7$  (число присоединенных молей оксида этилена); R-гидрофобный углеводородный радикал  $\text{C}_6\text{-C}_{10}$ . Измерение поверхностного натяжения и вязкости при введении указанного ПАВ в диметилформамид при температуре 20 °C позволило найти ККМ (~15 %). Повышение температуры привело к снижению ККМ. В такой организованной среде, содержащей в качестве лиганда салицилальанилин (0,1 моль/л), установлено увеличение в три раза скорости донорно-акцепторного взаимодействия. Это свидетельствует о протекании мицеллярного катализа.

### Список литературы:

1. Великанова Л.Н., Семченко В.В., Хентов В.Я. Кинетические закономерности извлечения металлов из техногенного сырья // Журнал прикладной химии. — 2011. — Т. 84. — Вып. 9. — С. 1418—1423.
2. Вережников В.Н. Организованные среды на основе коллоидных поверхностно-активных веществ. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. — 74 с.
3. Кужаров А.С., Хентов В.Я. О взаимодействии высокодисперсных переходных металлов с салицилальанилином // Координационная химия. — 1979. — № 4. — С. 601.

4. Семченко В.В., Великанова Л.Н., Хентов В.Я. Влияние природы растворителя на кинетику донорно-акцепторного взаимодействия меди с салицилальанилином // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 1998. — № 2. — С. 55—58.
5. Хентов В.Я., Великанова Л.Н., Кужаров А.С., Верещака В.В. Донорно-акцепторное взаимодействие меди, никеля и их труднорастворимых соединений с салицилальанилином // Интенсификация процессов переработки минерального сырья. — М.: Наука, 1981. — С. 156—159.
6. Хентов В.Я., Великанова Л.Н., Семченко В.В., Слабинская А.Б. Извлечение металлов из техногенного сырья // Журнал прикладной химии. — 2007. — Т. 80. — Вып. 7. — С. 1057—1062.
7. Хентов В.Я., Великанова Л.Н., Семченко В.В., Егорова Н.А. Решение проблемы рециклинга металлов на основе донорно-акцепторных систем // Экология и промышленность России. — 2009. — Март. — С. 48—49.

# **ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

Материалы VIII международной заочной  
научно-практической конференции

22 июля 2013 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 29.07.13. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 10,625. Тираж 550 экз.

Издательство «СибАК»  
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3