



# ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

*Сборник статей по материалам  
XII международной научно-практической конференции*

№ 11 (11)  
Ноябрь 2013 г.

Издается с декабря 2012 года

Новосибирск  
2013

УДК 50  
ББК 20  
Е 86

Ответственный редактор: Гулин А.И.

Председатель редакционной коллегии:

**Козьминых Владислав Олегович** — д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой химии естественнонаучного факультета Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета.

Редакционная коллегия:

**Ахмеднабиев Расул Магомедович** — канд. техн. наук, доц. Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка;

**Гукалова Ирина Владимировна** — д-р геогр. наук, доц. кафедры экономической и социальной географии географического факультета Киевского национального университета им. Т. Шевченко, ведущий научный сотрудник Института географии НАН Украины;

**Ахметов Сайранбек Махсутович** — д-р техн. наук, проф., ректор Казахстанского университета инновационных и телекоммуникационных систем, действительный член (академик) Национальной инженерной академии Республики Казахстан, заместитель председателя Западно-Казахстанского филиала НИА РК;

**Елисеев Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, директор по управленческому консалтингу СРО НП «ДелоТелеКом»;

**Зеленская Татьяна Евгеньевна** — канд. физ.-мат. доц. кафедры высшей математики Югорского государственного университета;

**Романова Алла Александровна** — канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной физики Санкт-Петербургского государственного университета сервиса и экономики;

**Рымкевич Павел Павлович** — канд. физ.-мат. доц., проф. кафедры физики Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, чл.-кор. Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, член Экспертного совета по энергоэффективности зданий и сооружений Санкт-Петербурга;

**Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы** — канд. хим. наук, PhD, директор института прикладной химии при Евразийском национальном университете им. Л.Н. Гумилева;

**Харченко Виктория Евгеньевна** — канд. биол. наук, доц. Луганского национального аграрного университета;

**Яковичина Татьяна Федоровна** — канд. с.-хоз. наук, доц., заместитель заведующего кафедрой экологии и охраны окружающей среды Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры, член Всеукраинской экологической Лиги (2011 г.).

**Е 86 Естественные и математические науки в современном мире.**  
№ 11 (11) сборник статей по материалам XII международной научно-практической конференции. — Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. — 226 с.

Учредитель: НП «СибАК»

Сборник статей «Естественные и математические науки в современном мире» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

ISSN 2309-3560

© НП «СибАК», 2013

<b>Оглавление</b>	
<b>Секция 1. Математика</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Вещественный, комплексный и функциональный анализ</b>	<b>9</b>
ВНЕШНЯЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА КАРЛЕМАНА В ДРОБНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ БЕСОВА Альсейтов Амангельды Гумарович	9
<b>1.2. Теория вероятностей и математическая статистика</b>	<b>47</b>
УСИЛЕННЫЙ ЗАКОН БОЛЬШИХ ЧИСЕЛ ДЛЯ Т-СВЯЗАННЫХ НЕЧЕТКИХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН Гордеев Роман Николаевич	47
<b>Секция 2. Информационные технологии</b>	<b>54</b>
<b>2.1. Системный анализ, управление и обработка информации</b>	<b>54</b>
АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГОСТИНИЧНОГО КОМПЛЕКСА Демурин Владимир Борисович	54
АНАЛИЗ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУДНИЧНОЙ СОЛИ Чикунов Павел Александрович Криводубский Олег Александрович	60
<b>2.2. Управление в социальных и экономических системах</b>	<b>67</b>
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФИНАНСИРОВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ Нескорородева Татьяна Васильевна Рябченко Алексей Александрович	67

<b>2.3. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей</b>	<b>77</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОПОРТАЛОВ Якубайлик Олег Эдуардович	77
<b>2.4. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ</b>	<b>83</b>
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИЗАЙНЕ И АРХИТЕКТУРЕ МАЛЫХ ФОРМ Мисюра Наталья Евгеньевна Берестова Светлана Александровна	83
МАТРИЦЫ ТОРСИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ Мисюра Наталья Евгеньевна Жилин Сергей Сергеевич	92
<b>2.5. Методы и системы защиты информации, информационная безопасность</b>	<b>102</b>
МОДЕЛЬ ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ Яркова Ольга Николаевна Осипова Александра Александровна	102
<b>Секция 3. Физика</b>	<b>108</b>
<b>3.1. Физика конденсированного состояния</b>	<b>108</b>
ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА СОРБЦИЮ ВОДОРОДА УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ Гулидова Людмила Владимировна Дуброва Наталья Александровна	108

АЛМАЗНЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ СО СТРУКТУРОЙ ОПАЛА: СИНТЕЗ, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРОЕНИЕ Совык Дмитрий Николаевич Ральченко Виктор Григорьевич Курдюков Дмитрий Александрович Грудинкин Сергей Александрович Казаков Валерий Александрович Савин Сергей Сергеевич Голубев Валерий Григорьевич Седов Вадим Станиславович	113
<b>3.2. Физика магнитных явлений</b>	<b>124</b>
УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ Цветкова Елена Вячеславовна Цветков Александр Викторович Сычева Екатерина Владимировна	124
ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМУМА ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ОТ РАССТОЯНИЯ ДО ЦЕНТРА НЕКРУГОВЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ Черепанов Артём Алексеевич Кротов Лев Николаевич	129
<b>3.3. Физика плазмы</b>	<b>136</b>
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРЭЭ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА ПУЧКОВОГО ТИПА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С САМОСОГЛАСОВАНИЕМ Борисов Алексей Владимирович Демкин Владимир Петрович Мельничук Сергей Васильевич Заседатель Вячеслав Сергеевич	136

<b>Секция 4. Биология</b>	<b>145</b>
<b>4.1. Биогеоценология</b>	<b>145</b>
РАСТИТЕЛЬНЫЕ АНТИГЕЛЬМИНТНЫЕ СРЕДСТВА В ВЕТЕРИНАРИИ Фархадов Гадир Теймур оглы	145
<b>4.2. Физико-химическая биология</b>	<b>149</b>
ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО КРАСНОГО СВЕТА НА СВОБОДНОРАДИКАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ МОЩНЫМ ЛАЗЕРОМ Баврина Анна Петровна Монич Виктор Анатольевич Малиновская Светлана Львовна Борзиков Владимир Владимирович Кононов Александр Дмитриевич Котельникова Анастасия Олеговна	149
<b>4.3. Экология и природопользование</b>	<b>159</b>
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ИЗБЫТОЧНЫЙ АКТИВНЫЙ ИЛ КАК КОРРЕКТИРУЮЩАЯ ДОБАВКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМЗИТА Ананьев Денис Сергеевич Картушина Юлия Николаевна	159
РОЛЬ ОПЫТНОЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СТАНЦИИ ПО «МАЯК» В РАЗВИТИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ (К 55-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ОПЫТНОЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СТАНЦИИ ПО «МАЯК») Смагин Андрей Иванович Лагунов Александр Васильевич	165

<p>НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ  РУКОКРЫЛЫМИ (CHIROPTERA), ОБИТАЮЩИМИ  В РАЙОНЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ЯДЕРНОГО  ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ  Смагин Андрей Иванович  Орлов Олег Леонидович  Дмитриева Анастасия Владимировна  Завьялова Ирина Валерьевна</p>	<p>170</p>
<p><b>4.4. Ветеринария</b></p>	<p><b>176</b></p>
<p>ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СИНДРОМА  ПАЛЬЦЕВЫЙ ДЕРМАТИТ,  СОПРОВОЖДАЮЩЕГОСЯ РАЗВИТИЕМ  TREPONEMA-, BORRELIA-, FUSOBAKTERIUM-,  И ДР. ИНФЕКЦИЙ В НЕКОТОРЫХ ХОЗЯЙСТВАХ  БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ  Писаренко Виктор Федорович  Левицкая Инна Леонидовна  Коваленко Анатолий Михайлович</p>	<p>176</p>
<p><b>Секция 5. Химия</b></p>	<p><b>185</b></p>
<p><b>5.1. Биоорганическая химия</b></p>	<p><b>185</b></p>
<p>КОМПЛЕКСНОЕ ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ  JUNIPERUS SABINA L. ИЗ КАЗАХСТАНА  Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы  Ишмуратова Маргарита Юлаевна  Искакова Жанар Бактыбаевна</p>	<p>185</p>
<p><b>5.2. Физическая химия</b></p>	<p><b>196</b></p>
<p>КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ  МИЦЕЛЛЯРНЫХ СУБСТРАТОВ В ПРИСУТСТВИИ  АДРЕНАЛИНА И МЕТИЛДОФА  Перевозкина Маргарита Геннадьевна</p>	<p>196</p>
<p><b>Секция 6. Науки о Земле</b></p>	<p><b>213</b></p>
<p><b>6.1. Геоэкология</b></p>	<p><b>213</b></p>
<p>ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ  ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ЕСТЕСТВЕННЫХ  ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ  Кузнецова Любовь Ивановна  Чевычелов Александр Павлович</p>	<p>213</p>

<b>6.2. Картография и геоинформатика</b>	<b>220</b>
ВЕКТОРНОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ	220
Даренская Людмила Васильевна	



## СЕКЦИЯ 1.

### МАТЕМАТИКА

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

##### ВНЕШНЯЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА КАРЛЕМАНА В ДРОБНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ БЕСОВА

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

##### CARLEMAN BOUNDARY VALUE PROBLEM IN FRACTIONAL BESSOV SPACE

*Amangeldy Alseytov*  
*Math teacher, gymnasium "Umit",*  
*Uralsk, Kazakhstan*

#### АННОТАЦИЯ

Настоящая работа посвящена исследованию внешней краевой задачи Карлемана в дробных пространствах Бесова, вложенных в пространство непрерывных функций, но не вложенных в класс непрерывных по Гёльдеру функций. Получено полное решение задачи методом интегральных уравнений с применением свойств интеграла типа Коши по замкнутому ляпуновскому контуру и теорем вложения.

#### ABSTRACT

This work is devoted to the study of Carleman boundary value problem in fractional Bessov space imbedded into space of continuous

functions but not embedded into category of Holder-continuous functions. A complete solution by an integral equation method has been deduced using integral of Cauchy type properties according to a closed Lyapunov contour and embedding theorems.

**Ключевые слова:** краевая задача Карлемана; сингулярное интегральное уравнение; интеграл типа Коши; вполне непрерывный оператор; дробное пространство; метод интегральных уравнений.

**Keywords:** Carleman boundary value problem; singular integral equation; integral of Cauchy type; completely continuous operator; fractional space; integral equation method.

**Введение.** Теория непрерывных краевых задач со сдвигом в классической постановке имеется в монографиях Ф.Д. Гахова [7], Н.И. Мухелишвили [17] и Г.С. Литвинчука [13].

Полное решение краевой задачи Газемана, а также четырех других основных краевых задач со сдвигом, кроме задачи типа задачи Карлемана, было дано Д.А. Квеселава в 1946—1948 гг. методом интегральных уравнений. Результаты исследований Д.А. Квеселава опубликованы в статьях [9—12]. Указанные работы Д.А. Квеселава сыграли решающую роль в дальнейшем развитии исследований по теории краевых задач и сингулярных интегральных уравнений со сдвигом.

В 1958 г. Г.Ф. Манджавидзе и Б.В. Хведелидзе [15] доказали теорему склеивания и установили конформную эквивалентность краевой задачи Газемана краевой задаче Римана. При этом в работе [15] было использовано дополнительное условие: существование второй производной сдвига  $\alpha(t)$ , удовлетворяющей условию Гельдера. В 1964 г. И.Б. Симоненко [18] дал новое обоснование конформной эквивалентности краевой задачи Газемана краевой задаче Римана, свободное от указанного выше дополнительного ограничения.

Проблема распространения результатов работ [11], [12] и [14] на случай многосвязной области привела В.А. Чернецкого [21], [22] к обоснованию комбинированного метода интегральных уравнений и конформного склеивания, который был впоследствии применен в монографии [13]. Центральное место в этом методе занимает, так называемая, теорема конформного склеивания [13, с. 149]. Первое доказательство этой теоремы для случая аналитического сдвига  $\alpha(t)$ , заданного на единичной окружности, дали с помощью вариационного метода теории однолистных функций М. Шеффер и Д. Спенсер [25] [8].

Теорию задачи Карлемана для доказательства отмеченной теоремы первым применил Юн Эр-Цзянь [26]. Ему удалось снять требование аналитичности  $\alpha(t)$  и заменить это требование обычным условием существования у функции сдвига  $\alpha(t)$  отличной от нуля гельдеровской производной первого порядка. Полное обоснование доказанной теоремы дано В.А. Чернецким [21], [22]. В этих работах обобщены и уточнены результаты Юн Эр-Цзяня и установлена конформная эквивалентность задачи Карлемана на  $\Gamma$  задаче Римана на разомкнутом контуре  $L$ . Последний результат независимо от В.А. Чернецкого был получен также Л.И. Чибриковой в работе [23].

Различные обобщения краевых задач со сдвигом в направлении расширения классов искомых и заданных функций и контуров можно найти в работах [1], [16], [19], [20], [24].

В основе исследования основных, а также других краевых задач со сдвигом в классическом случае лежит метод конформного склеивания, описанный в [7]. В результате конформного отображения краевая задача со сдвигом сводится к краевой задаче без сдвига, в частности, краевая задача Газемана сводится к краевой задаче Римана. С помощью метода конформного склеивания удастся получить числа решений и условий разрешимости указанных задач, либо точные оценки для этих чисел. Хотя метод склеивания является наиболее экономным способом построения качественной теории основных краевых задач со сдвигом на плоскости, эта же цель может быть достигнута также применением метода интегральных уравнений. Этим, однако, не исчерпывается значение последнего метода. Этот метод дает также алгоритмы для нахождения решений и условий разрешимости краевых задач. По этой причине для решения задач Газемана и Карлемана мы будем следовать методу интегральных уравнений, предложенному Д.А. Квеселаву [9]. Второй и основной причиной применения нами метода интегральных уравнений при решении указанных выше задач в дробных пространствах является тот факт, что при конформном отображении областей  $D^+$  и  $D^-$  на некоторые области  $\Delta^+$  и  $\Delta^-$ , на которые плоскость разделяется контуром  $L$ , являющегося образом исходного контура  $\Gamma$ , новый контур не является контуром Ляпунова. К настоящему моменту задача Римана в дробных пространствах Бесова решена лишь для случая, когда контур является замкнутым контуром Ляпунова. В случае же внешней краевой задачи Карлемана в дробных пространствах

при конформном отображении область  $D^-$  переходит на плоскость  $\Delta$  с разрезом вдоль простой разомкнутой дуги  $L$ ; насколько нам известно, задача Римана для разомкнутого контура в дробных пространствах до сих пор не рассмотрена. Отметим, что краевая задача Газемана, которая по-другому называется краевой задачей Римана со сдвигом, полностью решена нами в дробных пространствах Бесова методом интегральных уравнений [2].

В настоящей работе рассмотрим внешнюю краевую задачу Карлемана в дробных пространствах Бесова (определения этих пространств см., напр. [5]) и для удобства приведем без доказательства следующие результаты, которыми часто будем пользоваться в дальнейшем.

**Лемма А** [5, с. 353]. Пусть  $r > 0$  и замыкание  $\overline{D}$  ограниченной области  $D$  пространства  $E^n = E$  точек  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  взаимно однозначно отображается на замыкание  $\overline{D^*}$  области  $D^*$  пространства  $E^{n^*} = E$  точек  $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  при помощи отображения  $u = \varphi(x)$ , определяемого функциями

$$u_i = \varphi_i(x) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

принадлежащими классам  $C^{(l)} = C^{(l_r)}(D)$ , где

$$l_r = \max(1, r) \text{ при нецелом } r,$$

$$l_r = r + \varepsilon \text{ при целом } r, \quad (A_1)$$

С якобианом

$$\frac{D(u_1, \dots, u_n)}{D(x_1, \dots, x_n)} > K > 0,$$

где  $K$  не зависит от  $x \in D$ . Пусть еще  $f(u) \in H_p^{(r)}(E^*)$ .

Тогда:

1. Функция  $F(x) = f(\varphi(x)) = f(\varphi_1(x), \dots, \varphi_n(x))$  от  $X$  интегрируема в  $p$ -й степени на  $D$  (при  $p = \infty$  ограничена) и имеет частные производные по  $x_j$  порядков  $p < r$ , вычисляемые почти всюду на  $D$  по тем же правилам, как если бы  $f(u)$  имела непрерывные частные производные по  $u$ .

При этом

$$\|F(x)\|_{L_p(D)} \leq \frac{1}{K^p} \|f(u)\|_{L_p(D)}.$$

2. Функция  $F(x) \in H_p^{(r)}(D)$  и

$$\|F(x)\|_{H_p^{(r)}(D)} \leq C \|f(u)\|_{H_p^{(r)}(E^*)},$$

где:  $C$  — константа, зависящая от  $r$ , полунормы  $\|\varphi\|_{C^{(l)}}$  и  $K$ ,

$l = l(r)$  — число, определяемое в (A<sub>1</sub>).

В этом утверждении можно всюду заменить  $H_p^{(r)}$  на  $B_{p,\theta}^r$  ( $1 \leq \theta < \infty$ ), однако в предложении, что  $\varphi_i \in C^{(l_r)}$ , где (вместо (A<sub>1</sub>))

$$l_r = \max(1, r + \varepsilon), \quad \varepsilon > 0.$$

**Лемма В** [6, с. 61]. Пусть  $f(t) \in B_{p,\theta}^r(\Gamma)$ ,  $\Gamma \in C_\nu^1$ ,  $0 < \nu \leq 1$ , где  $r, p, \theta$  удовлетворяют одному из условий а)–с):

а.  $r = \frac{1}{p}, 1 < p < 2, \theta = 1;$

$$\text{b. } r > \frac{1}{p}, 1 < p < 2, \theta \geq 1;$$

$$\text{c. } r = 1 - \frac{1}{p}, 2 \leq p, \theta \leq 1.$$

Пусть выполнено условие  $r + \frac{1}{p} - 1 < \nu \leq 1$ . Тогда интеграл типа Коши

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(t) dt}{t - z} \quad (B_1)$$

принадлежит пространству  $B_{p,\theta}^{1+\alpha}(D)$ ,  $\alpha = r + \frac{1}{p} - 1$

и

$$\|\Phi(z)\|_{B_{p,\theta}^{1+\alpha}(D)} \leq c \|f(t)\|_{B_{p,\theta}^r(\Gamma)},$$

где постоянная  $c > 0$  не зависит от  $f$ .

**Следствие В.1.** В условиях леммы интеграл типа Коши (B<sub>1</sub>) имеет граничные значения слева  $\Phi^+(t_0)$  ( $z \in D, z \rightarrow t_0 \in \Gamma$ ) и справа  $\Phi^-(t_0)$  ( $z \in E/D, z \rightarrow t_0 \in \Gamma$ ), принадлежащие  $B_{p,\theta}^r(\Gamma)$ , причем

$$\|\Phi^\pm(t)\|_{B_{p,\theta}^r(\Gamma)} \leq C \|f(t)\|_{B_{p,\theta}^r(\Gamma)},$$

где постоянная  $c > 0$  не зависит от  $f$ . Из этого, в частности, следует справедливость формул Сохоцкого-Племеля.

**Следствие В.2.** В условиях леммы сингулярный оператор

$$S_{\Gamma} f = \frac{1}{\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(\tau) d\tau}{\tau - t}, \quad t \in \Gamma$$

понимаемый в смысле главного значения по Коши, ограничен в  $B_{p,\theta}^r(\Gamma)$ ,

$$\|S_{\Gamma} f\|_{B_{p,\theta}^r(\Gamma)} \leq c \|f\|_{B_{p,\theta}^r(\Gamma)},$$

где постоянная  $c > 0$  не зависит от  $f$ .

Для рассматриваемых нами пространств имеют место вложения

$$B_{p,1}^{\alpha}(D) \subset \rightarrow L_2(D), \text{ но } B_{p,1}^{\alpha}(D) \not\subset \rightarrow L_q(D), \quad q > 2 \text{ [25]},$$

$$B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma) \subset \rightarrow C(\Gamma), \text{ но } B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma) \not\subset \rightarrow C_{\beta}(\Gamma) \text{ ни при каком } 0 < \beta < 1 \text{ [26].}$$

2. Постановка задачи. Пусть  $\Gamma$  — простой гладкий замкнутый контур класса Ляпунова  $C_{\nu}^1$ ,  $\frac{2}{p} - 1 < \nu \leq 1$ ,  $1 < p < 2$  и разбивает плоскость комплексного переменного на две области: внутреннюю  $D^+$ , содержащую начало координат, и внешнюю  $D^-$ , содержащую бесконечно удаленную точку. Требуется определить функцию  $\Phi(z)$ , аналитическую в  $D^-$ , удовлетворяющую на контуре  $\Gamma$  краевому условию

$$\Phi^{-}[\alpha(t)] = G(t)\Phi^{-}(t) + g(t), \quad (1)$$

где  $G(t)$  и  $g(t)$  — заданные на контуре  $\Gamma$  функции класса Бесова  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}$ ,  $1 < p < 2$ , причем  $G(t) \neq 0$  всюду на  $\Gamma$ . Функция  $\alpha(t)$

переводит контур  $\Gamma$  взаимно однозначно в себя с изменением направления в нем, а также имеет производную  $\alpha'(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , отличную от нуля в точках  $\Gamma$ . Предполагаем, что выполняется условие Карлемана

$$\alpha[\alpha(t)] = t. \quad (2)$$

Как увидим ниже, краевое значение  $\Phi^-(t)$  искомой аналитической функции также принадлежит  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ . Из  $\alpha'(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$  следует, что  $\alpha(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}+1}(\Gamma)$ . Тогда согласно лемме А  $\Phi^-\alpha(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ .

Заменяя в краевом условии (1)  $t$  на  $\alpha(t)$ , получим в силу условия (2)

$$\Phi^-(t) = G[\alpha(t)]\Phi^-\alpha(t) + g[\alpha(t)]. \quad (3)$$

По лемме А  $G[\alpha(t)]$  и  $g[\alpha(t)]$  принадлежат  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ . Исключая из (1) и (3) предельное значение  $\Phi^-\alpha(t)$ , получим

$$\Phi^-(t) = G[\alpha(t)]G(t)\Phi^-(t) + G[\alpha(t)]g(t) + g[\alpha(t)]. \quad (4)$$

Соотношение (4) будет удовлетворяться в двух случаях:

1) Выражение 
$$\frac{G[\alpha(t)]g(t) + g[\alpha(t)]}{1 - G[\alpha(t)]G(t)} = f(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma),$$

$1 < p < 2$ , есть краевое значение аналитической в  $D^-$  функции.



В этом случае искомая функция определится по своему краевому значению интегралом Коши

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(\tau)}{\tau - z} d\tau + f(\infty)$$

и по лемме В  $\Phi(z) \in B_{p,1}^{\frac{2}{p}}(D^-)$ .

2) Соотношение (4) вырождается в тождество. Следовательно,

$$G[\alpha(t)]G(t) = 1 \quad (5)$$

и

$$G[\alpha(t)]g(t) + g[\alpha(t)] = 0. \quad (6)$$

В дальнейшем будем решать задачу (1) в предположении, что условия (5) и (6) выполнены.

Заметим, что функции

$$G(t) = \frac{h_1[\alpha(t)]}{h_1(t)}$$

и

$$g(t) = \frac{h_2(t) - h_2[\alpha(t)]}{h_1(t)},$$

где  $h_1(t)$  и  $h_2(t)$  — любые функции из  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , причем  $h_1(t) \neq 0$ , удовлетворяют условиям (5) и (6). Действительно,

по лемме А  $h_i[\alpha(t)] \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ ,  $i = 1, 2$ , и в силу этого и условия (2)

$$G[\alpha(t)] \cdot G(t) = \frac{h_1(t)}{h_1[\alpha(t)]} \cdot \frac{h_1[\alpha(t)]}{h_1(t)} = 1$$

и

$$G[\alpha(t)]g(t) + g[\alpha(t)] = \frac{h_1(t)}{h_1[\alpha(t)]} \cdot \frac{h_2(t) - h_2[\alpha(t)]}{h_1(t)} + \frac{h_2[\alpha(t)] - h_2(t)}{h_1[\alpha(t)]} = 0$$

3. Интегральные представления. Рассмотрим сначала тот случай, когда краевое условие (1) имеет вид

$$\Phi^-[\alpha(t)] = \lambda \Phi^-(t) + g(t), \quad \lambda = \pm 1. \quad (7)$$

Из условия (2) следует, что для разрешимости краевой задачи (7) необходимо, чтобы

$$g(t) + \lambda g[\alpha(t)] = 0.$$

Аналитическое в  $D^-$  решение задачи (7) будем искать в виде

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau, \quad (8)$$

где:  $\varphi(t)$  — функция из класса  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , причем

$$\varphi(t) + \lambda \varphi[\alpha(t)] = \frac{1 + \lambda}{2} \cdot C, \quad (9)$$

где:  $C$  — произвольная постоянная. Учитывая условие (9), по формулам Сохоцкого-Племеля, справедливость которых в классах Бесова доказана Н.К. Блиевым [6, с. 64], из (8) будем иметь:

$$\begin{aligned}\Phi^-(t) &= -\frac{1}{2}\varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - t} d\tau, \\ \Phi^-[ \alpha(t) ] &= \frac{\lambda}{2}\varphi(t) + \frac{\lambda}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \varphi(\tau) d\tau. \quad (10)\end{aligned}$$

Приведем соответствующие выкладки:

$$\begin{aligned}\Phi^-[ \alpha(t) ] &= -\frac{1}{2}\varphi[\alpha(t)] + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - \alpha(t)} d\tau = -\frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{1+\lambda}{2} C - \varphi(t) \right] \lambda + \\ &\quad + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - \alpha(t)} d\tau = \\ &\quad \frac{\lambda}{2}\varphi(t) - \frac{1+\lambda}{4} \lambda C + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - \alpha(t)} d\tau. \quad (11)\end{aligned}$$

В последнем интеграле сделаем подстановку  $\tau = \alpha(\tau_1)$ , затем переменную  $\tau_1$  снова обозначим  $\tau$ . Учитывая, что сдвиг меняет направление на контуре, а также условие (9), имеем:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - \alpha(t)} d\tau &= -\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)\varphi[\alpha(\tau)]}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau = \\ &= -\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau) \left[ \frac{1+\lambda}{2} C - \varphi(\tau) \right] \lambda d\tau}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} = \\ &= \frac{\lambda}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \varphi(\tau) d\tau - \frac{1+\lambda}{4\pi i} \lambda C \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau. \quad (12)\end{aligned}$$

Последний интеграл существует в смысле главного значения по Коши и равен  $-i\pi$ . В самом деле, учитывая, что контур

интегрирования, во всяком случае, гладкий, и сдвиг меняет направление на  $\Gamma$ , получим:

$$\begin{aligned}
 \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[ \int_a^{t-\varepsilon} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau + \int_{t+\varepsilon}^a \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau \right] = \\
 &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[ \ln[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \Big|_a^{t-\varepsilon} + \ln[\alpha(\tau) - \alpha(t)] \Big|_{t+\varepsilon}^a \right] = \\
 &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[ \ln[\alpha(t - \varepsilon) - \alpha(t)] - \ln[\alpha(a) - \alpha(t)] + \right. \\
 &\quad \left. + \ln[\alpha(a) - \alpha(t)] - \ln[\alpha(t + \varepsilon) - \alpha(t)] \right] = \\
 &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \ln \frac{\alpha(t - \varepsilon) - \alpha(t)}{\alpha(t + \varepsilon) - \alpha(t)} = -i\pi. \tag{13}
 \end{aligned}$$

(см. также [7, с. 29]). Объединив (11), (12) и (13) получим второе из равенств (10).

**Подставляя (10) в краевое условие (7), получим интегральное уравнение**

$$K\varphi \equiv \varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} k(t, \tau) \varphi(\tau) d\tau = \lambda g(t), \tag{14}$$

где

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

Интегральный оператор  $\int_{\Gamma} k(t, \tau) \varphi(\tau) d\tau$  вполне непрерывен

в  $B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  [2], [3], [4], т. е. ядро  $k(t, \tau)$  может быть представлено в виде отношения  $k(t, \tau) = \frac{M(t, \tau)}{|\tau - t|^\lambda}$ ,  $0 < \lambda < 1$ ,

$M(t, \tau) \in B_{p,1}^p(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ . Следовательно, уравнение (14) есть уравнение Фредгольма.

Лемма 1. Однородное уравнение  $K\varphi = 0$  имеет своим нетривиальным решением только произвольную постоянную.

Доказательство. Пусть  $\beta(t)$  функция обратная  $\alpha(t)$ . Легко показать, что свойства  $\beta(t)$  аналогичны свойствам  $\alpha(t)$ . Произвольная постоянная удовлетворяет уравнению  $K\varphi = 0$ . Действительно, пусть  $\varphi(t) \equiv C \neq 0$ . Тогда  $K\varphi = 0$  примет вид

$$\int_{\Gamma} k(t, \tau) d\tau = 2\pi i.$$

В самом деле, учитывая (13) имеем:

$$\begin{aligned} \int_{\Gamma} k(t, \tau) d\tau &= \int_{\Gamma} \left[ \frac{1}{\tau - t} - \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \right] d\tau = \int_{\Gamma} \frac{1}{\tau - t} d\tau - \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau = \\ &= i\pi - (-i\pi) = 2\pi i. \end{aligned}$$

Пусть теперь  $\varphi(t)$  — произвольное решение интегрального уравнения  $K\varphi = 0$ . Построим две функции  $\Phi_1(z)$  и  $\Phi_2(z)$ , аналитические в  $D^-$ :

$$\begin{aligned} \Phi_1(z) &= \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\beta(\tau)]}{\tau - z} d\tau, \quad z \in D^-, \\ \Phi_2(z) &= -\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau, \quad z \in D^-, \end{aligned}$$

где  $\beta(t)$  функция, обратная к функции сдвига  $\alpha(t)$ ,  
 $\varphi[\beta(t)] \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$  по лемме А, а  $\Phi_1(z)$  и  $\Phi_2(z)$  согласно лемме

В принадлежат пространству  $B_{p,1}^{\frac{2}{p}}(D^-)$ .

Используя формул Сохоцкого-Племеля, будем иметь:

$$\begin{aligned}\Phi_1^-(t) &= -\frac{1}{2}\varphi[\beta(t)] + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\beta(\tau)]}{\tau - t} d\tau, \\ \Phi_2^-(t) &= \frac{1}{2}\varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - t} d\tau.\end{aligned}$$

Отсюда сначала с помощью замены переменной интегрирования  $\tau = \alpha(\tau_1)$  и переобозначив  $\tau_1$  через  $\tau$ , а также учитывая, что  $\alpha(t)$  обратный гомеоморфизм контура  $\Gamma$  на себя и  $\beta(t)$  функция, обратная к функции сдвига  $\alpha(t)$ , получим

$$\begin{aligned}\Phi_1^-[ \alpha(t) ] &= -\frac{1}{2}\varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\beta(\tau)]}{\tau - \alpha(t)} d\tau = \\ &= -\frac{1}{2}\varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \varphi(\tau) d\tau.\end{aligned}$$

Далее рассмотрим разность

$$\begin{aligned}\Phi_2^-(t) - \Phi_1^-[ \alpha(t) ] &= \frac{1}{2}\varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - t} d\tau - \\ &= \left( -\frac{1}{2}\varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \varphi(\tau) d\tau \right) = \\ &= \varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \left[ \frac{1}{\tau - t} - \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \right] \varphi(\tau) d\tau,\end{aligned}$$

и увидим, что

$$\Phi_2^-(t) - \Phi_1^-[ \alpha(t) ] = 0$$

в силу интегрального уравнения  $K\varphi = 0$ . Это означает, что функции  $\Phi_1(z)$  и  $\Phi_2(z)$  удовлетворяют на  $\Gamma$  краевому условию

$$\Phi_1^-[ \alpha(t) ] = \Phi_2^-(t). \quad (15)$$

Из работы [10] известно, что если аналитическое в  $D^-$  функции  $\Phi_1^-(z)$  и  $\Phi_2^-(z)$  удовлетворяют краевому условию (15), то  $\Phi_1^-(z) \equiv \Phi_2^-(z) \equiv const$ . Учитывая, что ввиду представимости интегралами типа Коши функции  $\Phi_1^-(z)$  и  $\Phi_2^-(z)$  исчезают в бесконечно удаленной точке, откуда получаем  $\Phi_1^-(z) \equiv \Phi_2^-(z) \equiv 0$ .

Таким образом, функции  $\varphi(t)$  и  $\varphi[\beta(t)]$  являются краевыми значениями некоторых функции  $\Psi_1(z)$  и  $\Psi_2(z)$  аналитических в области  $D^+$ , т. е.

$$\varphi(t) = \Psi_1^+(t), \quad \varphi[\beta(t)] = \Psi_2^+(t). \quad (16)$$

Из (16) получаем краевое условие на  $\Gamma$ :  $\Psi_1^+(t) = \Psi_2^+[ \alpha(t) ]$ .

Следовательно, в области  $D^+$  выполняются следующие равенства  $\Psi_1^+(z) = \Psi_2^+(z) \equiv C$  и  $\Psi(t) = \Psi_1^+(t) \equiv C$  [10]. Таким образом, уравнение  $K\varphi = 0$  имеет лишь одно независимое решение и как показано выше оно есть постоянная. Лемма 1 доказана.

Следовательно, союзное однородное уравнение  $K'\psi = 0$  также имеет единственное независимое решение  $\psi(t)$ , а для разрешимости неоднородного интегрального уравнения  $K\varphi(t) = g(t)$  должно выполняться одно условие разрешимости

$$\int_{\Gamma} g(\tau)\psi(\tau)d\tau = 0, \quad (17)$$

где  $\psi(t)$  — нетривиальное решение однородного уравнения

$$\psi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \left[ \frac{1}{\tau - t} - \frac{\alpha'(t)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \right] \psi(\tau) d\tau = 0. \quad (18)$$

Лемма 2. Если  $\psi(t)$  есть нетривиальное решение уравнения (18), то функция

$$\psi(t) = c\psi[\alpha(t)]\alpha'(t) \quad (19)$$

тоже является решением этого уравнения при любой постоянной  $C$ .

Доказательство. Если  $c = 0$ , т. е.,  $\psi_1(t) \equiv 0$ , то лемма тривиальна. Пусть теперь  $c \neq 0$ , тогда поступаем следующим образом: перепишем (18) в виде

$$\psi(t) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \left[ \frac{1}{\tau - t} - \frac{\alpha'(t)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \right] \psi(\tau) d\tau,$$

затем, заменив  $t$  на  $\alpha(t)$  и умножив на  $c \neq 0$ , имеем

$$c\psi[\alpha(t)] = -\frac{c}{2\pi i} \int_{\Gamma} \left[ \frac{1}{\tau - \alpha(t)} - \frac{\alpha'[\alpha(t)]}{\alpha(\tau) - \alpha[\alpha(t)]} \right] \psi(\tau) d\tau$$

или с учетом условия (2) и следующего из него равенства

$$\alpha'[\alpha(t)] = \frac{1}{\alpha'(t)} \quad (20)$$



получим

$$c\psi[\alpha(t)] = -\frac{c}{2\pi i} \frac{1}{\alpha'(t)} \int_r \left[ \frac{\alpha'(t)}{\tau - \alpha(t)} - \frac{1}{\alpha(\tau) - t} \right] \psi(\tau) d\tau.$$

Совершив в последнем интеграле подстановку  $\tau = \alpha(\tau_1)$  и переобозначив  $\tau_1$  через  $\tau$  будем иметь

$$c\psi[\alpha(t)]\alpha'(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_r \left[ \frac{1}{\tau - t} - \frac{\alpha'(t)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \right] c\psi[\alpha(\tau)]\alpha'(\tau) d\tau = 0,$$

что и доказывает лемму.

Лемма 3. Если  $\alpha(t)$  — сдвиг Карлемана, то любое решение союзного интегрального уравнения Фредгольма (18) удовлетворяет условию

$$\psi(t) + \frac{\psi'[\alpha(t)]}{\alpha'(t)} = 0. \quad (21)$$

Доказательство. В силу того, что уравнение (18) имеет единственную собственную функцию, заключаем  $\psi_1(t) = \eta\psi(t)$ , где  $\eta$  — некоторая постоянная. Полагая  $\eta = 1$  из (19) получим

$$\alpha'(t) = \frac{\psi(t)}{c\psi[\alpha(t)]}. \quad (22)$$

Изменяющий ориентацию гомеоморфизм  $\alpha(t)$  обязательно имеет две неподвижные точки первой кратности, т.е. существуют точки  $t_i \in \Gamma$  такие, что  $\alpha(t_i) = t_i$ ,  $i = 1, 2$ . Из (20) следует, что в неподвижных точках  $\alpha'^2(t_i) = 1$ . Так как  $\alpha(t)$  изменяет

ориентацию на  $\Gamma$ , то  $\alpha'(t_i) = -1$ ,  $i = 1, 2$ . Тогда из (22) имеем

$$-1 = \alpha'(t_i) = \frac{1}{c}, \text{ откуда } c = -1.$$

Таким образом, показано, что любое решение союзного однородного уравнения (18) удовлетворяет условию (21). Лемма 3 доказана.

Согласно альтернативе Фредгольма неоднородное интегральное уравнение  $K\varphi = C$ , где  $C \neq 0$  — некоторая постоянная, не имеет нетривиального решения, откуда следует, что любое решение союзного однородного уравнения (18) удовлетворяет условию

$$\int_{\Gamma} \psi(\tau) d\tau \neq 0.$$

Лемма 4. Если

$$g(t) + g[\alpha(t)] = 0, \quad (23)$$

то интегральное уравнение  $K\varphi = g(t)$  разрешимо и любое его решение удовлетворяет условию

$$\varphi(t) + \varphi[\alpha(t)] = c, \quad (24)$$

где:  $C$  — постоянная.

Доказательство. В силу условия (23) можно записать

$$\int_{\Gamma} \{g(\tau) - g[\alpha(\tau)]\} \psi(\tau) d\tau = 0, \quad (25)$$

где:  $\psi(t)$  — любое нетривиальное решение союзного уравнения (18).

Перепишем (25) в виде

$$\int_{\Gamma} g(\tau) \psi(\tau) d\tau = - \int_{\Gamma} g[\alpha(\tau)] \psi(\tau) d\tau.$$

Преобразуя интеграл в правой части последнего равенства с помощью замены  $\tau = \alpha(\tau_1)$ , имеем

$$\int_{\Gamma} g(\tau)\psi(\tau)d\tau = \int_{\Gamma} g(\tau)\psi[\alpha(\tau)]\alpha'(\tau)d\tau.$$

В силу леммы 3 имеем, что  $\psi[\alpha(t)] \cdot \alpha'(t) \equiv -\psi(t)$ , и получаем что условие (17) разрешимости уравнения  $K\varphi = g(t)$  выполнено. Пусть  $\varphi(t)$  — решение этого уравнения. Тогда функция  $-\varphi[\alpha(t)]$  также является решением. Доказательство последнего утверждения проводится аналогично доказательству леммы 1 с помощью условия (23). Заметим, что функция  $\varphi(t) + \varphi[\alpha(t)]$  есть решение однородного уравнения  $K\varphi = 0$ . Но общим решением этого уравнения в силу леммы 1 является произвольная постоянная. Отсюда следует справедливость соотношения (24). Лемма 4 доказана.

Из леммы 4 следует справедливость следующего интегрального представления.

Теорема 1. Всякая функция  $\Phi^-(z)$ , аналитическая в области  $D^-$  и имеющая на  $\Gamma$  предельные значения  $\Phi^-(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ , допускает интегральное представление

$$\Phi^-(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - z} d\tau + C, \quad (26)$$

где постоянная  $C$  однозначно определяется по  $\Phi^-(z)$ , а плотность  $\varphi(t)$  определяется по  $\Phi^-(z)$  с точностью до произвольного постоянного слагаемого, причем  $\varphi(t) + \varphi[\alpha(t)] = c$ ,  $c$  — постоянная.

Доказательство. Так как функция  $g(t) = \Phi^-[\alpha(t)] - \Phi^-(t)$  удовлетворяет условию (23), то согласно лемме 4, уравнение  $K\varphi = \Phi^-[\alpha(t)] - \Phi^-(t)$  разрешимо и любое его решение удовлетворяет условию (24). Пусть  $\varphi(t)$  — некоторое решение уравнения

$$K\varphi = \Phi^-[\alpha(t)] - \Phi^-(t).$$

Введем функцию

$$\Psi^-(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - z} d\tau.$$

Учитывая (24), рассмотрим разность

$$\begin{aligned} \Psi^-[\alpha(t)] - \Psi^-(t) &= -\frac{1}{2} \varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)\varphi(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau - \\ &- \left\{ -\frac{1}{2} \varphi[\alpha(t)] + \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - t} d\tau \right\} = \\ &= -\frac{1}{2} \varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\alpha'(\tau)\varphi(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} d\tau + \frac{1}{2} c - \frac{1}{2} \varphi(t) - \\ &- \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{c}{\tau - t} d\tau + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - t} d\tau = \\ &= -\varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \left[ \frac{1}{\tau - t} - \frac{\alpha'(\tau)}{\alpha(\tau) - \alpha(t)} \right] \varphi(\tau) d\tau = \\ &= K\varphi = \Phi^-[\alpha(t)] - \Phi^-(t) = \\ &= \{\Phi^-[\alpha(t)] - C\} - \{\Phi^-(t) - C\}, \end{aligned}$$

где  $C = \Phi^-(\infty)$ .

Отсюда имеем

$$\Psi^-[\alpha(t)] - \{\Phi^-[\alpha(t)] - C\} = \Psi^-(t) - \{\Phi^-(t) - C\}.$$

В силу леммы [10]

$\Psi^-(z) - [\Phi^-(z) - C] \equiv 0$ , т. е.  $\Phi^-(z) = \Psi^-(z) + C$ . Теорема 1 доказана.

4. Простейшие неоднородные краевые задачи

Карлемана. На теореме 1 непосредственно основывается решение внешней краевой задачи Карлемана по скачку. Именно, справедлива Теорема 2. Краевая задача

$$\Phi^-[\alpha(t)] - \Phi^-(t) = g(t), \quad (27)$$

где  $g(t) + g[\alpha(t)] = 0$ , разрешима и её общее решение в классе функций, ограниченных на бесконечности, выражается формулой

$$\Phi^-(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - z} d\tau + C,$$

где:  $\varphi(t)$  — решение интегрального уравнения Фредгольма  $K\varphi = g(t)$ ,

$C$  — произвольная постоянная.

Доказательство. В соответствии с теоремой 1 решение задачи (27) будем искать в виде (26), где плотность  $\varphi(t)$  удовлетворяет условию (24). Вычисляя предельные значения  $\Phi^-[\alpha(t)]$  и  $\Phi^-(t)$ , и учитывая условие (24), краевую задачу (27) сводим к интегральному уравнению Фредгольма  $K\varphi = g(t)$ . В силу условия (23) последнее уравнение, во-первых, разрешимо по лемме 4, а во-вторых, решение этого уравнения удовлетворяет условию (24) и определяется с точностью до произвольной постоянной. Так как эта постоянная в выражение входит в виде слагаемого, то решение  $\Phi^-(z)$  на самом деле не зависит от этой постоянной. В качестве  $\varphi(t)$  можем взять любое частное решение уравнения  $K\varphi = g(t)$ . Теорема 2 доказана.

Далее найдем ещё решение краевой задачи

$$\Phi^-[\alpha(t)] + \Phi^-(t) = g(t), \quad (28)$$

что соответствует задаче (7) при  $\lambda = -1$ , где  $g(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  и удовлетворяет тождеству

$$g(t) - g[\alpha(t)] = 0. \quad (29)$$

Теорема 3. Пусть  $\alpha(t)$  — обратный сдвиг Карлемана. Всякая функция  $\Phi^-(z)$ , аналитическая в области  $D^-$  и имеющая всюду на  $\Gamma$  предельные значения  $\Phi^-(t) \in B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$ , допускает интегральное представление

$$\Phi^-(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - z} d\tau + \eta,$$

где плотность  $\varphi(t)$  и постоянная  $\eta$  определяются заданной функцией  $\Phi^-(z)$ , причем  $\varphi(t)$  удовлетворяет условию

$$\varphi(t) - \varphi[\alpha(t)] = 0. \quad (30)$$

Доказательство. Рассмотрим интегральное уравнение

$$K\varphi = \Phi^-[ \alpha(t) ] + \Phi^-(t) - 2\eta. \quad (31)$$

Необходимое и достаточно условие разрешимости уравнения (31) имеет вид

$$\int_{\Gamma} \{ \Phi^-[ \alpha(\tau) ] + \Phi^-(\tau) - 2\eta \} \psi(\tau) d\tau = 0, \quad (32)$$

где  $\psi(t)$  — любое решение союзного однородного уравнения (18). В силу того, что  $\int_{\Gamma} \psi(\tau) d\tau \neq 0$  для любого отличного от нулевого

решения уравнения (18), мы можем путем подбора постоянной  $\eta$  сделать выполненным (32).

Функция  $g(t) = \Phi^-[\alpha(t)] + \Phi^-(t) - 2\eta$  удовлетворяет условию (29). В силу этого решение уравнения (31) удовлетворяет условию (30). Пусть  $\varphi(t)$  — решение уравнения (31). В силу (30) предельные значения функции

$$\Psi^-(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - z} d\tau$$

удовлетворяют условию

$$\Psi^-[\alpha(t)] + \Psi^-(t) = K\varphi = \Phi^-[\alpha(t)] + \Phi^-(t) - 2\eta,$$

или

$$\Psi^-[\alpha(t)] - \Phi^-[\alpha(t)] + \eta = K\varphi = -(\Psi^-(t) - \Phi^-(t) + \eta),$$

откуда, согласно лемме из [10], имеем

$$\Psi^-(z) - \Phi^-(z) + \eta = 0,$$

что равносильно

$$\Phi^-(z) = \Psi^-(z) + \eta.$$

Теорема 3 доказана.

С помощью теоремы 3 докажем теорему о разрешимости краевой задачи (28).

Теорема 4. Краевая задача Карлемана

$$\Phi^-[\alpha(t)] + \Phi^-(t) = g(t), \tag{28}$$

где

$$g(t) - g[\alpha(t)] = 0, \tag{29}$$

разрешима в классе функций, ограниченных на бесконечности, и ее решение имеет вид

$$\Phi^-(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - z} d\tau + \eta, \quad (33)$$

где  $\varphi(t)$  — решение интегрального уравнения  $K\varphi = g(t)$ , а  $\eta = \Phi^-(\infty)$  и определяется формулой

$$\eta = \frac{\int_{\Gamma} g(\tau)\psi(\tau)d\tau}{2\int_{\Gamma}\psi(\tau)d\tau}, \quad (34) \psi(t) \text{ — решение уравнения } K'\psi = 0.$$

Доказательство. Согласно теореме 3 решение задачи (28) будем искать в виде (33), где плотность удовлетворяет условию (30). Предельные значения  $\Phi(t)$  и  $\Phi[\alpha(t)]$  имеют вид

$$\begin{aligned} \Phi(t) &= -\frac{1}{2}\varphi[\alpha(t)] + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - t} d\tau + \eta, \\ \Phi[\alpha(t)] &= -\frac{1}{2}\varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi[\alpha(\tau)]}{\tau - \alpha(t)} d\tau + \eta. \end{aligned}$$

Отсюда с учетом условия (29) следует

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



то есть,

$$K\varphi = -\Phi^{-}[\alpha(t)] + \Phi^{-}(t) = 2\eta - g(t).$$

Условие разрешимости примет вид

$$\int [2\eta - g(\tau)]\mu(\tau)d\tau = 0.$$

Отсюда для постоянной  $\eta = \Phi^{-}(\infty)$  имеем (34).

4. Однородная задача. Рассмотрим далее однородную краевую задачу

$$\Phi^{-}[\alpha(t)] = G(t)\Phi^{-}(t). \quad (35)$$

В силу (2) из самого краевого условия следует, что для разрешимости задачи (35) необходимо выполнение условия (5). Поскольку  $\alpha(t)$  обратный гомеоморфизм контура  $\Gamma$  на себя, то, как легко заметить,  $Ind\Phi^{-}[\alpha(t)] = -Ind\Phi^{-}(t) = N^{-}$ , где  $N^{-}$  — число нулей функции  $\Phi^{-}(z)$  в области  $D^{-}$ . Взяв индекс обеих частей равенства (35) и воспользовавшись этим фактом, а также свойствами индекса [7, с. 102], получим

$$\chi = IndG(t) = 2N^{-}.$$

Отсюда видно, что для разрешимости однородной краевой задачи Карлемана необходимо, чтобы индекс задачи  $\chi$  был неотрицателен. Здесь необходимо различать два случая, когда коэффициент задачи  $G(t)$  имеет нечетный или четный индекс. Функция сдвига  $\alpha(t)$  имеет две неподвижные точки, то есть точки, где  $\alpha(t) = t$  [12]. В силу (5) в этих точках  $G(t) = \pm 1$ , причем при четном  $\chi$  функция  $G(t)$  принимает на них одинаковые значения, а при нечетном  $\chi$  — различные [13, с. 158]. В случае нечетного  $\chi$ , как видно из самого краевого условия (35), не существует решения задачи (35), нигде

не обращающегося в нуль на контуре  $\Gamma$ . Введем обозначение:  $\chi = 2\chi'$ , если  $\chi$  — четное число;  $\chi = 2\chi' - 1$ , если  $\chi$  — нечетное.

Пусть сперва,  $\chi = 2\chi'$  — четное число.

**Рассмотрим вспомогательную краевую задачу**

$$F^-[\alpha(t)] = G_1(t)F^-(t), \quad (36)$$

где  $G_1(t) = \lambda t^{-\chi'} \alpha^{\chi'}(t)G(t)$ ,  $\lambda$  — значение  $G(t)$  в обеих неподвижных точках  $t'_0$  и  $t''_0$ . Легко убедиться, что  $\text{Ind}G_1(t) = 0$ ,  $G_1(t'_0) = G_1(t''_0) = 1$ . Кроме того,  $G_1(t)G_1[\alpha(t)] = 1$ . При этом  $\ln G_1(t)$  будет однозначной функцией. Логарифмируя краевое условие (36), получим

$$\ln F^-[\alpha(t)] = \ln G_1(t) + \ln F^-(t), \quad (37)$$

причем  $\ln G_1(t) + \ln G_1[\alpha(t)] = 0$ .

Мы пришли к краевой задаче Карлемана по скачку. По теореме 2 задача (37) разрешима и имеет в классе аналитических функций, исчезающих на бесконечности единственное решение. Из (36) видим, что функция  $X(z) = z^{-\chi'}F(z)$  удовлетворяет краевому условию

$$X^-[\alpha(t)] = \lambda G(t)X^-(t). \quad (38)$$

Функцию  $X(z)$  назовем канонической функцией краевой задачи (35) с четным индексом. Каноническая функция аналитична всюду в области  $D^-$ , и имеет в бесконечно удаленной точке нуль порядка  $\chi'$ . Во всех точках включая точек контура  $\Gamma$ ,  $X(z) \neq 0$ .

Так как  $X^-(t) \neq 0$  всюду на  $\Gamma$  то в силу (38) будем иметь

$$\frac{\Phi^-[\alpha(t)]}{X^-[\alpha(t)]} = \lambda \frac{\Phi^-(t)}{X^-(t)}. \quad (39)$$

Обозначив  $W(z) = \frac{\Phi(z)}{X(z)}$  проведем краевое условие (39) к виду

$$W^-[\alpha(t)] = \lambda W^-(t). \quad (40)$$

Искомая функция  $W(z)$  аналитична в области  $D^-$  всюду, кроме бесконечно удаленной точки, в которой она имеет полюс порядка  $\chi'$ . Будем искать решение задачи (40) в виде

$$W(z) = P_{\chi'}(z) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} dz,$$

где  $P_{\chi'}(z)$  многочлен степени  $\chi'$ ,  $\varphi(t)$  удовлетворяет условию (9). Запишем по формулам Сохоцкого-Племеля предельные значения  $W(z)$  на  $\Gamma$

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

и поставив их в краевое условие (40), придем к интегральному уравнению

$$K\varphi \equiv \varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} k(t, \tau) \varphi(\tau) d\tau = P_{\chi'}(t) - \lambda P_{\chi'}[\alpha(t)].$$

Условие разрешимости последнего уравнения имеет вид

$$\int_{\Gamma} \{P_{\chi'}(\tau) - \lambda P_{\chi'}[\alpha(\tau)]\} \psi(\tau) d\tau = 0, \quad (41)$$

где:  $\psi(t)$  — решение союзного уравнения (18).

Пусть  $P_{\chi'}(t) = \sum_{k=0}^{\chi'} c_k t^k$ . Тогда путем замены  $\tau_1 = \alpha(\tau)$

и переобозначив  $\tau_1$  через  $\tau$ , а также учитывая, что сдвиг меняет направление, получим

$$-\lambda \int_{\Gamma} P_{\chi'}[\alpha(\tau)] \psi(\tau) d\tau = \lambda \int_{\Gamma} P_{\chi'}(\tau) \psi[\alpha(\tau)] \alpha'(\tau) d\tau.$$

Теперь нетрудно убедиться, что условие (41) легко преобразовать к следующему виду

$$\sum_{k=0}^{\chi'} c_k \int_{\Gamma} \tau^k \{ \psi(\tau) + \lambda \psi[\alpha(\tau)] \alpha'(\tau) \} d\tau = 0. \quad (42)$$

Учитывая, что решения союзного уравнения (18) обладают свойством (21), приходим к выводу: при  $\lambda = 1$  все интегралы левой части (42) равны нулю, и, следовательно, все постоянные  $c_k$  произвольны. Если  $\lambda = -1$ , то условие (42) в силу леммы 3 примет вид

$$\sum_{k=0}^{\chi'} c_k \int_{\Gamma} \tau^k \psi(\tau) d\tau = 0.$$

Последнее равенство определяет коэффициент  $c_0$  через остальные коэффициенты многочлена  $P_{\chi'}(z)$ , и, следовательно, общее решение задачи (40) при  $\lambda = -1$  содержит на одну произвольную постоянную меньше, чем при  $\lambda = 1$ . Тем самым доказана

Теорема 5. Однородная краевая задача Карлемана (35) с четным индексом  $\chi$  в случае, если  $G(t) = 1$  в неподвижных точках сдвига

$\alpha(t)$ , имеет  $\frac{\chi}{2} + 1$  линейно независимых решений; эта задача имеет

$\frac{\chi}{2}$  линейно независимых решений, если в неподвижных точках

$G(t) = -1$ . Общее решение задачи дается формулой

$$\Phi(z) = P_{\chi'}(z)X(z) + \frac{X(z)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} dz, \quad z \in D^-, \quad \chi' = \frac{\chi}{2},$$

где:  $P_{\chi'}(z)$  — многочлен степени не выше  $\chi'$  с  $(\chi' + 1)$  произвольными коэффициентами в случае  $\lambda = 1$  и  $\chi'$  произвольными коэффициентами, если  $\lambda = -1$ ;

$X(z)$  — каноническая функция задачи с четным индексом;

$\varphi(t)$  — решение интегрального уравнения Фредгольма

$$K\varphi = P_{\chi'}(z) - \lambda P_{\chi'}[\alpha(t)].$$

Пусть теперь  $\chi = 2\chi' - 1$  — нечетное число. В этом случае, как сказано выше, не существует решения краевой задачи (35), нигде не обращающегося в нуль на контуре  $\Gamma$ . Обозначим через  $t_0$  ту неподвижную точку, в которой  $G(t) = -1$ . В таком случае любое решение  $\Phi(z)$  задачи (35) имеет вид  $\Phi(z) = (z - t_0)\Phi_0(z)$ , где  $\Phi_0(z)$  мероморфна в  $D^-$  и удовлетворяет граничному условию

$$\Phi_0^-[\alpha(t)] = G_0(t)\Phi_0^-(t)$$

на  $\Gamma$ , где

$$G_0(t) = G(t) \frac{t - t_0}{\alpha(t) - t_0}.$$

Откуда

$$\arg G_0(t) = \arg G(t) - \arg\{\alpha(t) - t_0\} + \arg\{t - t_0\},$$

и, следовательно

$$IndG_0(t) = 2\chi'.$$

Функция  $G_0(t)$  принадлежит классу  $B_{p,1}^{\frac{1}{p}}(\Gamma)$ ,  $1 < p < 2$  и отлична от нуля всюду на  $\Gamma$ . Кроме того, индекс функции  $G_0(t)$  равен  $2\chi'$  и  $G_0(t)G_0[\alpha(t)] = 1$ ,  $G_0(t) = 1$ .

Таким образом, и в этом случае пришли к задаче с четным индексом. Проведем полное исследование.

Рассмотрим вспомогательную краевую задачу

$$F_1^-[\alpha(t)] = G_2(t)F_1^-(t), \quad (43)$$

где  $G_2(t) = t^{-\chi'} \cdot \alpha^{\chi'}(t) \cdot G_0(t)$ . Нетрудно убедиться, что  $IndG_2(t) = 0$ ,  $G_2(t_0) = G_2(t_0'') = 1$ ,  $G_2(t)G_2[\alpha(t)] = 1$ . Ясно, что  $\ln G_2(t)$  однозначная функция. Прологарифмировав (43) имеем

$$\ln F_1^-[\alpha(t)] = \ln F_1^-(t) + \ln G_2(t), \quad (44)$$

при этом  $\ln G_2(t) + \ln G_2[\alpha(t)] = 0$ .

По теореме 2 задача (44) безусловно разрешима и имеет в классе аналитических функций, исчезающих на бесконечности, единственное решение. Из (43) видно, что функция  $X_1(z) = z^{-\chi'} F_1^-(z)$  удовлетворяет краевому условию

$$X_1^-[\alpha(t)] = G_0(t)X_1^-(t). \quad (45)$$

Функцию  $X_1(z)$  назовем канонической функцией краевой задачи (35) с нечетным индексом. Каноническая функция  $X_1(z)$

аналитична всюду в области  $D^-$  и имеет в бесконечно удаленной точке нуль порядка  $\chi'$ . Во всех остальных точках  $D^-$ , включая точек контура  $\Gamma$ ,  $X_1(z) \neq 0$ . Так как  $X_1^-(t) \neq 0$  на  $\Gamma$ , то в силу (45) имеем

$$(\alpha(t) - t_0) \frac{\Phi^-[\alpha(t)]}{X_1^-[\alpha(t)]} = \frac{\Phi^-(t)}{X_1^-(t)} (t - t_0). \quad (46)$$

Обозначив

$$W_1(z) = \frac{\Phi(z)}{X_1(z)} (z - t_0)$$

приведем (46) к виду

$$W_1^-[\alpha(t)] = W_1^-(t). \quad (47)$$

Искомая функция  $W_1(z)$  аналитична всюду в области  $D^-$ , кроме бесконечно удаленной точки, в которой она имеет полюс порядка  $\chi' + 1$ . Решение задачи (47) будем искать в виде

$$W_1(z) = P_{\chi'+1}(z) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau,$$

где  $P_{\chi'+1}(z)$  многочлен степени  $\chi' + 1$ ,  $\varphi(t)$  удовлетворяет условию (9). Используя формул Сохоцкого-Племеля, запишем предельные значения  $W_1(z)$  на  $\Gamma$

$$W_1^-(t) = P_{\chi'+1}(t) - \frac{1}{2} \varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - t} d\tau$$

$$W_1^-[\alpha(t)] = P_{\chi'+1}[\alpha(t)] - \frac{1}{2} \varphi[\alpha(t)] + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - \alpha(t)} d\tau,$$

и подставив их в краевое условие (47), приходим к следующему интегральному уравнению

$$K\varphi \equiv \varphi(t) - \frac{1}{2\pi i} \int k(t, \tau) \varphi(\tau) d\tau = P_{\chi'+1}(t) - P_{\chi'+1}[\alpha(t)]. \quad (48)$$

Условие разрешимости уравнения (48) имеет вид

$$\int_{\Gamma} \{P_{\chi'+1}(\tau) - P_{\chi'+1}[\alpha(\tau)]\} \psi(\tau) d\tau = 0, \quad (49)$$

где:  $\psi(t)$  — решение союзного уравнения (18).

После некоторых преобразований условие (49) приводится к виду

$$\sum_{k=0}^{\chi'+1} c_k \int_{\Gamma} \tau^k \{\psi(\tau) + \psi[\alpha(\tau)] \alpha'(\tau)\} d\tau = 0. \quad (50)$$

Учитывая, что решения союзного уравнения (18) обладают свойством (21) приходим к заключению: все интегралы в левой части (50) равны нулю, и, следовательно, все постоянные  $c_k$  произвольны. Нами доказана следующая теорема.

**Теорема 6.** Общее решение однородной задачи (35) с нечетным индексом  $\chi = 2\chi' - 1$ , аналитическое в  $D^-$ , представляется в виде

$$\Phi(z) = (z - t_0) P_{\chi'+1}(z) X_1(z) + \frac{(z - t_0) X_1(z)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau, \quad z \in D^-,$$

где:  $t_0$  — та неподвижная точка  $\alpha(t)$ , в которой  $G_0(t) = -1$ ,

$P_{\chi'+1}(z)$  — многочлен степени не выше  $(\chi' + 1)$  с произвольными коэффициентами,



$\varphi(t)$  — решение интегрального уравнения

$$K\varphi = P_{\chi'+1}(t) - P_{\chi'+1}[\alpha(t)],$$

$X_1(z)$  — каноническая функция задачи (35) с нечетным индексом,

определяемая формулой  $X_1(z) = z^{-\chi'}(z - t_0) \cdot e^{\frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{f(\tau)d\tau}{\tau - z}}$ ,  
 где  $f(t)$  — решение интегрального уравнения  $Kf = \ln G_2(t)$ ,

$$G_2(t) = t^{-\chi'} \cdot \alpha^{\chi'}(t) \cdot \frac{t - t_0}{\alpha(t) - t_0} \cdot G(t).$$

6. Неоднородная задача. Перейдем к изучению неоднородной краевой задачи (1). Пусть  $\chi = \text{Ind}G(t) \geq 0$ .

В силу условия (5) к соответствующей однородной задаче применимы все рассуждения приведенные выше. В частности, каноническая функция  $X(z)$  удовлетворяет краевому условию (38). Выражая из условия (38) функцию  $G(t)$  и подставляя полученное выражение в краевое условие (1), имеем,

$$\frac{\Phi^-[\alpha(t)]}{X^-[\alpha(t)]} = \lambda \frac{\Phi^-(t)}{X^-(t)} + \frac{g(t)}{X^-[\alpha(t)]}. \quad (51)$$

Здесь  $\lambda = -1$ , если  $G(t) = -1$  в обеих неподвижных точках  $\alpha(t)$ ,  $\lambda = 1$  — во всех остальных случаях.

Краевая задача (51) есть задача (7) с заданным скачком. Нетрудно показать, что условие (6) является условием разрешимости задачи (51). Решение краевой задачи (51) будем искать в виде

$$\frac{\Phi(z)}{X(z)} = P_{\chi'}(z) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau, \quad (52)$$

где:  $P_{\chi'}(z)$  — произвольный многочлен степени  $\chi'$ .

По формулам Сохоцкого-Племеля найдем предельные значения  $\frac{\Phi(z)}{X(z)}$  на контуре  $\Gamma$

$$\frac{\Phi^-(t)}{X^-(t)} = -\frac{1}{2}\varphi(t) + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau + P_{\chi'}(t),$$

$$\frac{\Phi^-[\alpha(t)]}{X^-[\alpha(t)]} = -\frac{1}{2}\varphi[\alpha(t)] + \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - \alpha(t)} d\tau + P_{\chi'}[\alpha(t)]$$

и подставив их в краевое условие (51) после некоторых преобразований приходим к интегральному уравнению

$$K\varphi = P_{\chi'}(t) - \lambda P_{\chi'}[\alpha(t)] - \frac{g[\alpha(t)]}{X^-(t)}. \quad (53)$$

Интегральное уравнение (53) разрешимо при выполнении условия

$$\int_{\Gamma} \left\{ P_{\chi'}(\tau) - \lambda P_{\chi'}[\alpha(\tau)] - \frac{g[\alpha(\tau)]}{X^-(\tau)} \right\} \psi(\tau) d\tau = 0, \quad (54)$$

где:  $\psi(t)$  — нетривиальное решение союзного однородного уравнения  $K'\psi = 0$ . Используя условий (17) и (41) нетрудно показать, что при  $\lambda = 1$  условие (54) выполняется для произвольных коэффициентов  $c_0, c_1, \dots, c_{\chi'}$ , а в случае  $\lambda = -1$  условие (54) определяет одну постоянную  $c_k$  через остальные.

Если индекс  $\chi < 0$ , то в формуле (52) следует положить  $P_{\chi'} \equiv 0$ . Чтобы  $\Phi(t)$  была аналитической в  $D^-$  функции, необходимо требовать, кроме того, чтобы функция

$$\Phi(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} d\tau,$$

имела на бесконечности нуль порядка не ниже  $-\chi'$ . Это означает необходимость выполнения  $-\chi'$  условия разрешимости

$$\int_{\Gamma} \tau^{\kappa-1} \varphi(\tau) d\tau = 0, \quad \kappa = 1, 2, \dots, -\chi'.$$

Кроме того, функция  $\varphi(t)$  есть решение интегрального уравнения

$$K\varphi = -\frac{g[\alpha(t)]}{X^-(t)}.$$

Следовательно, при  $\lambda = -1$  должно выполняться еще одно условие разрешимости

$$\int_{\Gamma} \frac{g[\alpha(\tau)]}{X^-(\tau)} \psi(\tau) d\tau = 0,$$

где  $\psi(t)$  — нетривиальное решение союзного однородного уравнения  $K'\psi = 0$ . Полученные результаты резюмирует следующая

Теорема 7. Неоднородная краевая задача (1) с индексом  $\chi \geq 0$  имеет  $\chi' + 1$  — линейно независимых решений  $\chi' = E\left(\frac{\chi}{2}\right)$ , если  $\lambda = 1$ , и  $\chi'$  линейно независимых решений, если  $\lambda = -1$ . Общее решение задачи (1), аналитическое в  $D^-$  дается формулой

$$\Phi(z) = P_{\chi'}(z)X(z) + \frac{X(z)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi(\tau)}{\tau - z} dz,$$

где  $P_{\chi'}(z)$  — многочлен степени не выше  $\chi'$  с  $(\chi' + 1)$  произвольными коэффициентами в случае  $\lambda = 1$ , и  $\chi'$  — в случае

$\lambda = -1$ ,  $X(z)$  — каноническая функция,  $\varphi(t)$  есть решение интегрального уравнения

$$K\varphi = P_{\chi'}(t) - \lambda P_{\chi'}[\alpha(t)] - \frac{g[\alpha(t)]}{X^-(t)}.$$

Если индекс  $\chi < 0$ , то краевая задача (1) имеет единственное решение, аналитическое в  $D^-$ , определяемое формулой

$$\Phi^*(z) = \frac{X(t)}{2\pi i} \int_{\Gamma} \frac{\varphi^*(\tau)}{\tau - z} d\tau, \quad z \in D^-,$$

где  $\varphi^*(t)$  есть решение уравнения  $K\varphi = -\frac{g[\alpha(t)]}{X^-(t)}$ .

Для существования решения  $\Phi^*(z)$  в случае  $\lambda = 1$  необходимо и достаточно выполнение  $-\chi'$  условий разрешимости

$$\int_{\Gamma} \tau^{k-1} \varphi^*(\tau) d\tau = 0, \quad k = 1, 2, \dots, -\chi'. \quad (55)$$

при  $\lambda = -1$  к условиям (55) добавляется еще одно условие

$$\int_{\Gamma} \frac{g[\alpha(\tau)]}{X^-(\tau)} \psi(\tau) d\tau = 0,$$

где  $\psi(t)$  — решение союзного однородного уравнения  $K'\psi = 0$ .

## Список литературы:

1. Айзенштат А.В. Задача Карлемана с разрывным сдвигом // Теория функций комплексного переменного и краевые задачи. Изд-во Чувашского ун-та. — 1974. — № 2. — С. 3—11.
2. Альсейтов А.Г. Краевая задача Газемана в дробных пространствах Бесова // Материалы VIII международной научно-практической конференции «Естественные и математические науки в современном мире». Новосибирск. Изд. «СибАК». 1999. — С. 7—24.
3. Альсейтов А.Г. О вполне непрерывности одного интегрального оператора в дробных пространствах О.В. Бесова // Тезисы II Международной научной конференции «Проблемы дифференциальных уравнений, анализа и алгебры», Актобе, 1999. — С. 7.
4. Альсейтов А.Г. Об одном интегральном операторе в дробных пространствах О.В. Бесова // Поиск. Серия естест. наук. — 1999. — № 5. — С. 199—205.
5. Бесов О.В., Ильин В.П., Никольский С.М. Интегральные представления функций и теоремы вложения. М.: Наука, 1975. — 480 с.
6. Блиев Н.К. Обобщенные аналитические функции в дробных пространствах. Алма-Ата: Наука, 1985. — 160 с.
7. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. М.: Наука, 1977. — 640 с.
8. Голузин Г.М. Геометрическая теория функций комплексного переменного. М.: Наука, 1966. — 540 с.
9. Квеселава Д.А. Решение одной граничной задачи теории функций // Докл. АН СССР. — 1946. — Т. 53. — № 8. — С. 683—686.
10. Квеселава Д.А. Об одной граничной задачи теории функций // Сообщ. АН Груз. ССР. — 1946. — Т. 7. — № 9—10. — С. 609—614.
11. Квеселава Д.А. Решение одной граничной задачи теории функций Т. Карлемана // Докл. АН СССР. — 1947. — Т. 55. — № 8. — С. 683—686.
12. Квеселава Д.А. Некоторые граничные задачи теории функций // Труды Матем. ин-та. Груз. ССР. — 1948. — Т. 16. — С. 39—80.
13. Литвинчук Г.С. Краевые задачи и сингулярные интегральные уравнения со сдвигом. М.: Наука, 1977. — 448 с.
14. Литвинчук Г.С. О некоторых краевых задачах Римана со смещениями // Изв. вузов, матем. — 1961. — № 6. — С. 71—81.
15. Манджавидзе Г.Ф., Хведелидзе Б.В. О задаче Римана-Привалова с непрерывными коэффициентами // Докл. АН СССР. — 1958. — Т. 123. — № 5. — С. 791—794.
16. Мельник И.М. О краевой задаче Карлемана с разрывными коэффициентами // Сообщ. III конф. Ростовск. матем. об-ва. Ростов-н/Д. — 1969. — Вып. 2. — С. 41—49.

17. Мухелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. М.: Физматгиз, 1968. — 512 с.
18. Симоненко И.Б. Краевая задача Римана для  $n$  пар функций с измеримыми коэффициентами и ее применение к исследованию сингулярных интегралов в пространствах  $L_p$  с весами // Изв. АН СССР. Сер. матем. — 1964. — Т. 28. — № 2. — С. 277—306.
19. Симоненко И.Б. Краевые задачи Римана и Римана-Газемана с непрерывными коэффициентами // Исследования по современным проблемам теории функций компл. перем. М.: Физматгиз. 1961. — С. 380—389.
20. Чакветадзе С.С. Обобщенная граничная задача Гильберта для нескольких неизвестных функций с разрывными коэффициентами // Тр. Горького пед. ин-та. — 1961. — № 7. — С. 155—164.
21. Чернецкий В.А. О конформной эквивалентности краевой задачи Карлемана краевой задачи Римана на разомкнутом контуре // Докл. АН СССР. — 1970. — Т. 190. — № 1. — С. 54—56.
22. Чернецкий В.А. Краевая задача Карлемана для многосвязной области. Новосибирск (Деп. в ВИНТИ, — 1971, — № 3782-71. — 32 с.).
23. Чибрикова Л.И. О применении римановых поверхностей при исследовании плоских краевых задач и сингулярных интегральных уравнений // Труды семинара по краевым задачам Казанского университета. — 1970. — вып. 7. — С. 28—44.
24. Чибрикова Л.И. Особые случаи обобщенной задачи Римана // Уч. зап. Казанского ун-та. — 1952. — Т. 112. — № 10. — С. 129—154.
25. Schaeffer A.C. and Spencer D.C. Coefficients regions of schlicht functions, Amer. Soc. Colloquim, Publ. 35, (1950).
26. Yong Er-gian. On the sewing theorem, Chinese Math.5, 1 (1964).

## **1.2. ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА**

### **УСИЛЕННЫЙ ЗАКОН БОЛЬШИХ ЧИСЕЛ ДЛЯ T-СВЯЗАННЫХ НЕЧЕТКИХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН**

*Гордеев Роман Николаевич*

*канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информационных технологий  
Тверского государственного университета,  
г. Тверь*

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

### **STROG LOW OF LARGE NUMBERS FOR MUTUALLY T-RELATED FUZZY RANDOM VARIABLES**

*Roman Gordeev*

*candidate of Science, assistant professor of IT department  
of Tver State University,  
Tver*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант  
№ 12-01-31339*

#### **АННОТАЦИЯ**

В работе рассматриваются вопросы применимости предельных теорем для сумм нечетких случайных величин, являющихся независимыми относительно случайной компоненты и взаимно T-связанными относительно нечеткой компоненты.

#### **ABSTRACT**

The paper discusses the applicability of the limit theorems for sums of fuzzy random variables, which are independent according to the random component and mutually T-related according to the fuzzy component.

**Ключевые слова:** предельная теорема; нечеткие случайные переменные; t-норма; закон больших чисел.

**Keywords:** limit theorem; fuzzy random variables; t-norm; the law of large numbers.

**Введение.** Нечеткие случайные переменные были введены как полезная и хорошо формализованная модель случайных величин, принимающих свои значения на нечетком множестве. За последние два десятилетия эта формализация получила широкое распространение, было разработано несколько подходов, описывающих возможностную (нечеткую) составляющую этих случайных величин. Среди них можно выделить работы, направленные в первую очередь на изучение измеримости нечетких случайных величин (Пури и Ралеску [7], Клемент [3], Язенин [9], Колуби [2]), и работы, посвященные изучению применимости закона больших чисел для нечетких случайных величин (Колуби [1], Молчанов [5], Пури [6]).

Тем не менее, статистические аспекты и варианты возможного применения нечетких случайных величин в литературе до сих пор освещены недостаточно. И хотя некоторые из центральных предельных теорем были рассмотрены для нечетких случайных величин в работах Ли [4], они не позволяют сформулировать следствия, аналогичные тем, которые имеют место быть для вещественных случайных величин. Изучению этих проблем и посвящена настоящая работа.

### 1. Необходимый математический аппарат

Предварительно введем необходимые понятия и обозначения. Пусть  $\mathbf{K}$  — есть класс всех непустых замкнутых подмножеств в  $\mathbb{R}^d$ , а  $\mathbf{K}_c$  — подкласс всех непустых замкнутых и выпуклых подмножеств в  $\mathbb{R}^d$ . Кроме того пусть на  $\mathbf{K}$  определена метрика Хаусдорфа

$$d_H(A, B) = \max \left\{ \sup_{x \in A} \inf_{y \in B} |x - y|, \sup_{y \in B} \inf_{x \in A} |x - y| \right\}.$$

И норма, также называемая величиной, для каждого множества  $A \in \mathbf{K}$ , определяемая как

$$\|A\| = d_H(A, \{0\}) = \sup_{x \in A} |x|.$$



Так же будем обозначать выпуклую оболочку множества  $A$  через  $coA$ .

Пусть  $(\Omega, \mathbf{A})$  является измеримым пространством. Тогда отображение из  $\Omega$  в  $\mathbf{K}$  называется случайным замкнутым множеством, если оно измеримо относительно меры  $\mathbf{A}$  и борелевской  $\sigma$ -алгебры, ассоциированной с метрикой  $d_H$ .

Ожидаемым значением случайного замкнутого множества  $\Gamma$  назовем  $E\Gamma = \{E\gamma \mid \gamma \in \Gamma \text{ почти наверное и } \exists E\gamma\}$ . Если  $\|\Gamma\|$  интегрируемо, тогда  $E\Gamma$  принадлежит  $\mathbf{K}$ .

Для каждого  $U$ , являющегося нечетким подмножеством  $\mathbb{R}^d$ , определим  $U_\alpha$  ( $\alpha > 0$ ), называемое множеством уровня  $\alpha$ , т. е.  $U_\alpha = \{x \mid U(x) \geq \alpha\}$ . Замкнутый носитель нечеткого множества  $U$  обозначим через  $U_0$ .

Обозначим через  $\mathbf{U}$  множество всех нормальных нечетких множеств  $U: \mathbb{R}^d \rightarrow [0, 1]$ , таких, что  $U_\alpha \in \mathbf{K}$  для всех  $\alpha \in (0, 1]$ . Далее обозначим через  $\mathbf{U}_c$  все  $U \in \mathbf{U}$ , имеющие выпуклые уровневые множества. Кроме того, обозначим через  $\mathbf{F}$  все  $U \in \mathbf{U}$ , имеющие компактные носители, а через  $\mathbf{F}_c$  все  $U \in \mathbf{F}$ , имеющие выпуклые уровневые множества.

Для всех  $U \in \mathbf{U}$  определим выпуклую оболочку  $coU \in \mathbf{U}_c$  через выражение  $(coU)_\alpha = co(U_\alpha)$ ,  $\alpha \in (0, 1]$ .

Кроме того, зададим на  $\mathbf{U}$  слабую топологию, порожденную семейством отображений  $\{L_\alpha: \mathbf{U} \rightarrow (\mathbf{K}, d_H)\}_{\alpha \in (0, 1]}$ , определяемых выражением  $L_\alpha U = U_\alpha$ . Обозначим эту топологию через  $\tau$ . Так же приведем обозначения некоторых важных метрик:

$$d_\infty(U, V) = \sup_{\alpha \in (0, 1]} d_H(U_\alpha, V_\alpha)$$

и

$$d_p(U, V) = \left( \int_0^1 d_H(U_\alpha, V_\alpha)^p d\alpha \right)^{\frac{1}{p}}, \quad p \geq 1.$$

## 2. Закон больших чисел для сумм T-связанных нечетких случайных величин

Обозначим  $T$  непрерывную t-норму. Множество всех элементов из  $[0, 1]$ , для которых t-норма  $T$  является идемпотентной, обозначим  $\text{Idem}(T)$ . Для каждого  $\alpha \in [0, 1]$  определим операцию сложения

$$(U + V)(x) = \sup_{x_1+x_2=x} (U(x_1)TV(x_2)), \quad (1)$$

которая порождает Абелеву группу в  $\mathbf{U}$ . В частном случае, когда  $T = \min$ , мы получим обычное сложение для минисвязанных нечетких величин [9].

Заметим, что определенные таким образом операции соответствуют базовым принципам теории нечетких множеств. Действительно, выражению  $U(x_1)TV(x_2)$  можно сопоставить функцию принадлежности  $(x_1, x_2)$ , заданную на нечетком Декартовом произведении  $(\mathbf{u} \times \mathbf{v})$ , при этом операция пересечения определяется t-нормой  $T$ .

В качестве дополнительной операции мы будем рассматривать операцию умножения нечеткого множества на скаляр, которая не зависит от выбранной t-нормы.

Теперь определим, что мы понимаем под нечеткой случайной величиной.

**Определение 1.** Отображение  $X : \Omega \rightarrow \mathbf{U}$  будем называть нечеткой случайной величиной, или случайным элементом множества  $\mathbf{U}$ , если отображения  $X_\alpha : \omega \mapsto X(\omega)_\alpha$  являются случайными компактными множествами для всех  $\alpha \in (0, 1]$ .

**Определение 2.** Нечеткую случайную переменную  $X$  будем называть почти ограничено интегрируемой, если  $\|X_\alpha\|$  являются интегрируемыми для всех  $\alpha \in (0, 1]$ .

Последнее определение дает нам условие существования единственного элемента  $EX \in U$ , такого что  $(EX)_\alpha = EX_\alpha$  для всех  $\alpha \in (0,1]$ , называемого ожидаемым значением величины  $X$ . Заметим, что даже если почти наверное все реализации величины  $X$  принадлежат  $F$ , ее ожидаемое значение может  $F$  не принадлежать. На самом деле,  $EX \in F$  тогда и только тогда, когда  $X$  является ограничено интегрируемой, т. е.  $\|X_0\|$  также является интегрируемой [8].

Для последовательности  $\{X_i\}_{i \in \mathbb{N}}$  независимых и одинаково распределенных случайных нечетких величин обозначим через  $S_n(X, T)$  выборочное среднее первых  $n$  членов последовательности,  $S_n(X, T) = n^{-1} \sum_{i=1}^n X_i$ , где  $T$  — заданная t-норма. Здесь под операцией сложения понимается операция, определенная выражением (1).

### 3. Основной результат

В [8] было показано, что закон больших чисел не выполняется в общем случае в  $U$  для метрики  $d_p$ . Возникает вопрос, существуют ли условия, при которых ЗБЧ будет справедлив для  $U$ .

Введем следующее отображение  $T_\alpha : U \rightarrow F$ , определяемое выражением

$$(T_\alpha U)(x) = I_{U_\alpha}(x) \cdot U(x), \quad (2)$$

где:  $I_A$  — индикатор множества  $A$ . Таким образом  $(T_\alpha U)_\beta = U_{\max\{\alpha, \beta\}}$ .

Слабую топологию, порожденную в  $U$  семейством отображений  $\{T_\alpha\}_{\alpha \in (0,1]}$ , обозначим  $T_p$ , когда на  $F$  задана метрика  $d_p$ .

**Теорема 1.** Пусть  $X$  есть почти интегрируемая ограничено нечеткая случайная величина на  $\mathbf{U}$ ,  $\{X_i\}_{i \in \square}$  — независимые и одинаково распределенные, как и  $X$ , нечеткие случайные величины. Тогда

$$S_n(X, T) \rightarrow KcoEX$$

почти наверное в топологии  $\mathbf{T}_p$ , для всех  $p \in [1, \infty)$ . Здесь  $co$  — выпуклая оболочка,  $K$  — проекционный оператор деконвексификации [8].

**Доказательство.** Выберем произвольное  $\alpha \in (0, 1]$ . Нам нужно доказать, что  $T_\alpha S_n(X) \rightarrow T_\alpha KcoEX$  относительно метрики  $d_p$ . Согласно лемме 12 [8] имеем,

$$S_n(T_{\alpha/2}X)_\alpha = S_n(X)_\alpha \text{ и } (KcoET_{\alpha/2}X)_\alpha = (KcoEX)_\alpha.$$

На самом деле это справедливо для всех произвольных  $\beta \geq \alpha$ . Тогда,

$$\begin{aligned} d_p(T_\alpha S_n(X), T_\alpha KcoEX) &= \left( \int_0^1 d_H((T_\alpha S_n(X))_\beta, (T_\alpha KcoEX)_\beta)^p d\beta \right)^{\frac{1}{p}} = \\ &= \left( \int_0^\alpha d_H(S_n(X)_\alpha, (KcoEX)_\alpha)^p d\beta + \int_\alpha^1 d_H(S_n(X)_\beta, (KcoEX)_\beta)^p d\beta \right)^{\frac{1}{p}} = \\ &= \left( \alpha \cdot d_H(S_n(X)_\alpha, (KcoEX)_\alpha)^p + \int_\alpha^1 d_H(S_n(T_{\alpha/2}X)_\beta, (KcoET_{\alpha/2}X)_\beta)^p d\beta \right)^{\frac{1}{p}} \leq \\ &\leq \left( \alpha \cdot d_H(S_n(X)_\alpha, (KcoEX)_\alpha)^p + d_p(S_n(T_{\alpha/2}X), KcoET_{\alpha/2}X)^p \right)^{\frac{1}{p}}. \end{aligned}$$

Теперь, выражение  $\alpha \cdot d_H(S_n(X)_\alpha, (KcoEX)_\alpha)^p$  стремится к 0, согласно теореме 1 [8], выражение  $d_p(S_n(T_{\alpha/2}X), KcoET_{\alpha/2}X)^p$  стремится к нулю согласно теореме 2 [8]. Кроме того, поскольку

$T_{\alpha/2}X$  является ограниченно интегрируемой, то  $ET_{\alpha/2}X$  существует и единственно.

### **Заключение**

В работе предложена топология, позволяющая установить выполнение закона больших чисел для нечетких случайных величин с неограниченными носителями и операцией суммирования на основе t-норм.

### **Список литературы:**

1. Colubi A., Domínguez-Menchero J.S., López-Díaz M., Gil M.A., A generalized strong law of large numbers // *Probab. Theory Related Fields*, — 1999 — V. 114, — pp. 401—417.
2. Colubi A., Domínguez-Menchero J.S., López-Díaz M., Ralescu D.A. ADE [0, 1]-representation of random upper semicontinuous functions // *Proc. Amer. Math. Soc.*, — 2002, — V. 130, — pp. 3237—3242.
3. Klement E.P., Puri M.L., Ralescu D.A., Law of large numbers and central limit theorems for fuzzy random variables. // *Cybernetics and Systems Research*. Elsevier, North-Holland, Amsterdam, — 1986, — V. 2. — pp. 525—529.
4. Li S., Ogura Y., Proske F.N., Puri M.L. Central limit theorems for generalized set-valued random variables. // *J. Math. Anal. Appl.*, — 2003 — V. 285, — pp. 250—263.
5. Molchanov I. On strong laws of large numbers for random upper semicontinuous functions. // *J. Math. Anal. Appl.*, — 1999 — V. 235, — pp. 349—355.
6. Proske F.N., Puri M.L. Strong law of large numbers for Banach space valued fuzzy random variables. // *J. Theoret. Probab.*, 2002 — V. 15, — pp. 543—551.
7. Puri M.L., Ralescu D.A. Fuzzy random variables. // *J. Math. Anal. Appl.*, — 1986 — V. 114, — pp. 409—422.
8. Teran P.A strong law of large numbers for random upper semicontinuous functions under exchangeability conditions // *Statist. Probab. Lett.*, — 2003, — V. 65, — pp. 251—258.
9. Yazenin A.V., Wagenknecht M. Possibilistic optimization. IPM: Cottbus, Germany, 1996.

## **СЕКЦИЯ 2.**

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

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

##### **АРХИТЕКТУРА И ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГОСТИНИЧНОГО КОМПЛЕКСА**

*Демури́н Влади́мир Бори́сович*

*канд. техн. наук, старший преподаватель  
Краснодарского филиала ФГБОУ ВПО «Финансовый университет  
при правительстве Российской Федерации»,  
г. Краснодар*

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

##### **ARCHITECTURE AND SOFTWARE MODULES A OF INFORMATION SYSTEM OF A HOTEL COMPLEX**

*Demurin Vladimir Borisovich*

*candidate of engineering sciences, senior lecturer of Krasnodar branch  
of Financial University under the Government of the Russian Federation,  
Krasnodar*

##### **АННОТАЦИЯ**

В статье приводятся основные принципы и функции информационной системы управления гостиничным комплексом. Описана архитектура информационной технологии поддержки принятия решений в данной системе. Также, предложены средства программной реализации информационной системы управления гостиничным комплексом.

## ABSTRACT

The article presents the basic principles and functions of information system of a hotel complex. The architecture of information technology, using to support decision-making in the system is described. Also, the author proposes means of a software implementation of information management system of a hotel complex.

**Ключевые слова:** информационная система; информационная технология; гостиничный комплекс; менеджер.

**Keywords:** information system; information technology; hotel complex; manager.

Для повышения эффективности управления гостиничными комплексами, повышения комфорта эксплуатации, сокращения расходов на обслуживающий персонал, сокращения расходов на ежемесячные коммунальные платежи, сокращения расходов на ремонт и замену оборудования используют автоматизированные системы управления зданиями [2]. Эффективность таких систем увеличивается при использовании в их работе искусственного интеллекта. Задача глобальной интеллектуализации информационных систем различного назначения с каждым годом становится всё более актуальной. Причина этого процесса кроется в сложности процедуры принятия управленческих решений в условиях неопределённости воздействий внешней среды и нечёткости исходных данных (природные катаклизмы, резкие повышения цен, нестабильность законодательной базы, неоднозначность трактовки понятий «мало», «много» и т. д.).

Различные информационные системы призваны повышать эффективность управленческой деятельности [1]. Практика показывает, что в большинстве случаев реализация информационных систем носит стихийный характер, случайным образом автоматизируются лишь некоторые функции деятельности предприятия или организации. Поэтому чрезвычайно важно иметь стратегию их реализации, то есть знать, что именно автоматизировать и какими средствами. Неоптимальный выбор может принести значительные убытки [7] и усложнить выход на рынок, а в худшем случае потребует замены всей существующей системы автоматизированного управления [2].

Предложенная реализация информационной системы строго придерживается следующих принципов [5]:

1. Принцип согласованности обеспечивает реализацию таким образом, что частичное знание о функционировании отдельных

составляющих информационной системы даёт представление о системности действий в целом.

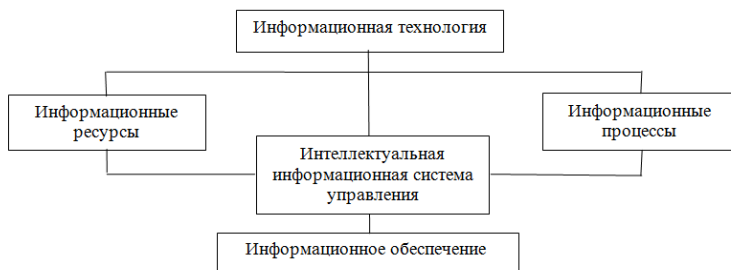
2. Принцип соответствия и ортогональности, то есть в информационную систему включены лишь те задания и функции, которые отвечают существенным требованиям и являются независимыми.

3. Принцип экономичности и полноты значит, что в информационной системе отсутствует дублирование функций, а введённые с учётом технологических и экономических ограничений функции максимально полно отвечают потребностям внедрения современных информационных технологий.

4. Принцип открытости требует соответствие стандартам (в том числе: международным, государственным, промышленным и фактически действующим), совместимость с другими системами, универсальность (возможность с минимальными расходами перенести используемые технологии на новую техническую платформу) и масштабируемость.

Информационная технология принятия управленческих решений в информационной системе гостиничного комплекса базируется на понятиях «информационные ресурсы» и «информационные процессы». На рисунке 1 приведена схема, которая определяет предложенную информационную технологию как совокупность информационных ресурсов и процессов с разработанной интеллектуальной информационной системой управления.

Информационные ресурсы — это предложенные в работе модели, методы и процедуры. Информационные процессы в широком смысле — это процессы получения, сохранения, превращения, представления и передачи информации, взятые в частности или в совокупности. Содержание и характер информационных процессов определяется информационной системой.



*Рисунок 1. Схема информационной технологии*



Интеллектуальная информационная система (ИИС) является собой инструмент, позволяющий отбирать информационные ресурсы и реализовать информационные процессы [2]. Основу ИИС составляет ЭВМ с операционной системой, системой управления базами данных и прикладными программами.

Архитектура информационной технологии (см. рисунок 2) описывает взаимосвязь предложенных в работе теоретических положений с помощью разработанной прикладной программы (информационной системы).

Основные функции информационной системы:

1. Сбор данных реализуется лицом, принимающим решение (ЛПР) с помощью блока ввода исходных данных и блока синтеза альтернатив.

2. Анализ данных основывается на использовании совокупности математических моделей и методов для получения информации из данных структурированных определённым образом, необходимых для принятия решения.

3. Функция самообучения системы осуществляет коррекцию экспертных значений рангов услуг в зависимости от заказов услуг клиентами.

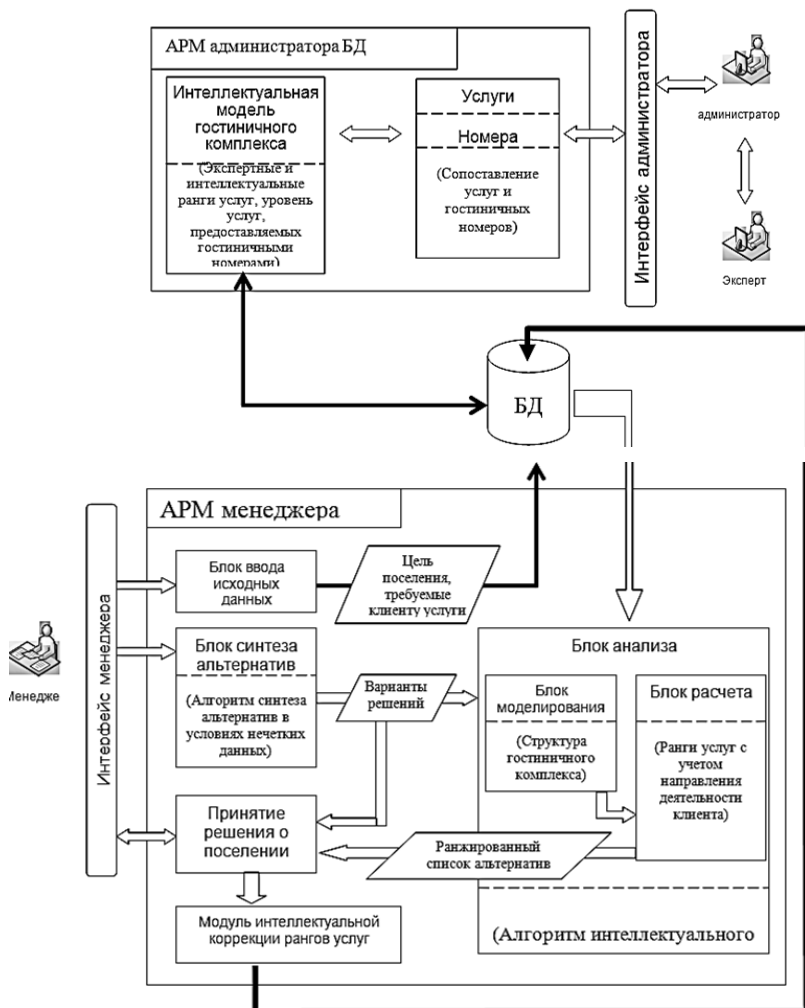
4. Хранение и поиск информации осуществляется с помощью базы данных и соответствующей системы управления базой данных.

Лицо, принимающее решение о поселении (менеджер гостиничного комплекса), осуществляет выбор альтернативы, которая наиболее удовлетворяет предъявляемым требованиям за счёт выполнения следующих функций [3]:

1. Ввод начальных данных, которые необходимы для проведения автоматизированных расчётов.

2. Синтез альтернатив по алгоритму синтеза альтернатив в условиях нечётких исходных данных.

3. Принятие решения о поселении в гостиничный номер, который наиболее полно удовлетворяет предъявленным требованиям.



**Рисунок 2. Архитектура информационной технологии поддержки принятия управленческих решений в информационной системе гостиничного комплекса**

После синтеза альтернатив варианты решений поступают в блок анализа, который путём расчёта рангов услуг с учётом направления деятельности клиента на основе моделирования структуры гостиничного комплекса ранжирует допустимые альтернативы. Полу-

ченный ранжированный список альтернатив указывает на возможность или невозможность поселения в гостиничном номере с заданными условиями и является основой для принятия решения о непосредственном поселении в конкретный гостиничный номер [4].

В случае поселения клиента полученная информация о затребованных услугах и их требуемом уровне позволяет выполнить автоматизированные расчёты и провести интеллектуальную корректировку рангов предоставляемых услуг, сохраняемых в БД программного комплекса. Для работы со следующим клиентом в качестве базовых будут использованы уже скорректированные интеллектуальные ранги услуг, что позволяет системе самообучаться и адаптироваться к изменяющимся запросам клиентов.

Из известных технологий разработки распределённых программных дополнений выбрана технология .NET, разработанная компанией Microsoft, которая является одной из самых прогрессивных и продолжает развиваться. Вызов функций среды .NET можно выполнить на многих языках программирования: Visual Basic C#, C++ и др. Но, чтобы использовать технологию .NET наиболее эффективно, разработчиками были введены новые программные конструкции, используемые в языке C# [6].

Созданная на основе предложенной архитектуры информационная система гостиничного комплекса может использоваться для поддержки принятия решений при выборе клиентом гостиничного номера и формировании управляющих посылок для подсистем интеллектуальных зданий, входящих в состав комплекса.

### **Список литературы:**

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2002. — 368 с.
2. Демури В.Б. Использование интеллектуальных систем для управления гостиничными комплексами //Технические науки: проблемы и перспективы: материалы международной заочной научно-практической конференции г. Санкт-Петербург/ Под общ. Ред. Г.Д. Ахметовой. СПб.: Реноме, 2011. — С. 48—52.
3. Демури В.Б. Метод многокритериального выбора в информационной системе гостиничного комплекса в условиях неопределённости// Научно-технический журнал «Информационные системы и технологии», — № 5(73), — 2012. — С. 5—12.

4. Демури́н В.Б. Процедура ранжирования множества услуг типового гостиничного комплекса на основе рангов потребностей человека для сферы гостеприимства // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» г. М., МГТУ им. Баумана — 2011. — № 05. [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <http://technomag.edu.ru/doc/181090.html>
5. Морозов М.А. Управление отелем: ставка на информационные технологии // Туризм: практика, проблемы, перспективы. 2008. № 8.
6. Нейгел Кристиан. С# 2005 для профессионалов. Си шарп / Кристиан Нейгел и др. М.: Диалектика, 2006. — 1376 с.
7. Немковский Б.Л. Использование информационных технологий — шаг в сторону прибыли / Б.Л. Немковский // Отель. — 2010. — № 2. — с. 60—65.

## **АНАЛИЗ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУДНИЧНОЙ СОЛИ**

***Чикунов Павел Александрович***

*ст. пр. кафедры электроники и компьютерных технологий  
систем управления Учебно-научного  
профессионально-педагогического института,  
г. Артёмовск, Украина  
E-mail: [pashurka@mail.ru](mailto:pashurka@mail.ru)*

***Криводубский Олег Александрович***

*канд. техн. наук, доцент  
кафедры прикладной математики и информатики  
Донецкого национального технического университета,  
г. Донецк, Украина  
E-mail: [my\\_anna@mail.ru](mailto:my_anna@mail.ru)*

# THE ANALYSIS AND FORMALIZATION CHARACTERISTICS OF SURFACE COMPLEXES OF MINER SALT PROCESSING

*Pavel Chikunov*

*senior Lecturer, Department of Electronics and Computer Technology  
in Control Systems,  
Educational-scientific Professional-pedagogical Institute,  
Artemovsk, Ukraine*

*Oleg Krivodubski*

*candidate of Science, assistant professor,  
Department of Applied Mathematics and Computer Science,  
Donetsk National Technical University,  
Donetsk, Ukraine*

## АННОТАЦИЯ

Для разработки информационной технологии системы подготовки принятия решений (СППР) по управлению поверхностными комплексами, необходимо провести анализ технологических особенностей производства, принципов формирования портфеля заказов и реализации продукции на примере ГП «Артемсоль». Выполнен системный анализ технологических особенностей производства и сезонных характеристик реализации продукции поверхностных комплексов на примере ГП «Артемсоль». Формализованы и представлены в виде логико-формальной модели производственные затраты на планово-отчетные позиции номенклатуры продукции.

## ABSTRACT

For the development of an information technology Decision Support System (DSS) to manage the surface complexes, it is necessary to analyze the technological features of production, the principles of business acquisition and sale of products on the example SE Artemsolt. The technological features of production and seasonal characteristics of the product processing in surface complexes are analysis. The form of a mathematical model of the production costs for planning and reporting positions of the products are formalized and presented.

**Ключевые слова:** добыча и переработка рудничной соли; портфель заказов; производственные затраты; принятие решений по управлению.

**Keywords:** production and processing of miner salt; order book; production costs; decision support in management.

**Постановка проблемы.** В качестве объекта управления выступает Государственное предприятие (ГП) «Артемсоль», являющееся монополистом на Украине по добыче и переработке рудничной (каменной) соли. Авторами сформирована следующая задача исследования: выполнить аналитическое моделирование предметной области информационной системы прогноза показателей производственной программы предприятия и его подразделений при стратегическом и тактическом планировании с помощью статистических моделей, базирующихся на фактических данных производственной программы.

**Анализ литературных источников.** Постановка задач принятия решения при планировании деятельности ГП «Артемсоль» отражена в работе [1]. Анализ предприятия, как объекта управления, осуществлен в работе [2]. Основные положения моделирования производственных показателей предприятия рассмотрены в работе [3].

**Изложение основного материала.** Обобщенная технологическая схема производства пищевой поваренной соли, включающая в себя подземную добычу в рудниках и переработку на поверхностных комплексах, представлена в [1, с. 37—38]. Технологическая схема переработки соли включает в себя классификацию потока соли на виброгрохотах, дробление в дробилках, измельчение в вальцевых мельницах и фасовку в затаровочных и упаковочных аппаратах. В ходе этих операций получают различные виды продукции, при этом цена увеличивается после каждой операции. Каждый вид продукции может подвергаться дополнительной обработке: внесению противослеживающей добавки и йодированию. Перечень всех видов продукции достигает 45 планово-отчетных позиций и не приводится в данной работе. При планировании производства ГП «Артемсоль» обычно учитываются 9 укрупненных (обобщенных) видов продукции.

**Формирование портфеля заказов.** Структурно в портфель входят три вида заказов: государственный заказ, заказы по долгосрочным договорам и рыночные заказы. На основании проекта портфеля заказов плановые службы разрабатывают производственную программу для предприятия в целом и для каждого рудника в отдельности. Производственные задания включают в себя добычу (задания для рудников) и выпуск продукции (задания для поверхностных перерабатывающих комплексов). Госзаказы и длительные договора составляют основу плановых заданий,

в то время как рыночные заказы выступают в роли случайных возмущений в плановый период.

**Анализ характеристик процессов реализации продукции.** В качестве исходных данных взяты показатели продаж за 2010—2012 гг. Согласно имеющимся данным, реализация неупакованной соли, составляющей весомую долю в объемах поставок ГП «Артемсоль», носит гармонический характер, то есть процесс производства и реализации этой продукции нестационарен. Также следует отметить резкие колебания объемов продаж в осенне-зимний период.

Также выявлена нестационарность в производстве и реализации фасованной соли. Наиболее заметны сезонные всплески объемов производства и реализации этой продукции в 2—4 месяцах и 7—9 месяцах каждого года.

Характеристика из анализа производства и реализации затаренной в мешки соли носит выраженный гармонический характер, и имеет сезонный всплеск во 2—4 месяцах и тенденцию наращивания производства в 4—12 месяцах года. Таким образом, производство затаренной соли также носит нестационарный характер.

Как следует из анализа поставок соли, затаренной по требованиям заказчиков в мягкие контейнеры МКР (1 тонна), эти поставки встречаются в 1-м, 3-м и 4-м кварталах года и, практически отсутствуют во 2-м и 3-м кварталах, при этом они носят случайный характер.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что планирование производства и реализации продукции должно осуществляться на базе динамических моделей, описывающих нестационарность процесса продаж.

**Формализация производственных затрат.** Виды производимой продукции отличаются по объемам трудозатрат в рамках одного рудника. Различные виды оборудования, установленного на рудниках, имеют отличающиеся показатели по производительности и энергопотреблению.

При формализации затрат за основу принимаются планово-отчетные позиции номенклатуры производимой продукции:  $SS^j(A_i)$  — производственные затраты, где  $i = \overline{1 \div 9}$  — позиции номенклатуры,  $j = \overline{1 \div 4}$  — номер рудника.

На первой стадии классификации виброгрохотом потока добытой соли издержки производства крупнокусковой соли  $SS^j(A_9)$  и продуктов классификации — зерновой соли  $SS^j(A_8)$ , подчинены условию  $SS^j(A_g) = SS^j(A_8) + SS^j(A_9)$ , где  $A_g$  — добытая из шахты соль.

Продукция второй классификации виброгрохотом (соль сеяная) характеризуется издержками  $SS^j(A_C)$ , где  $A_C$  — сеяная соль, при этом логико-формальные связи затрат:

$$SS^j(A_g) = SS^j(A_9) + SS^j(A_{10}) + SS^j(A_C).$$

Дробление и измельчение определяют издержки производства молотой соли  $SS^j(A_I)$ , при этом подчиняясь логико-формальной связи:

$$SS^j(A_I) = SS^j(A_9) + SS^j(A_{op}) + SS^j_k(A_{изм}),$$

где:  $SS^j(A_{op})$  — затраты на дробление,

$SS^j_k(A_{изм})$  — затраты на измельчение,

$k$  — степень измельчения (помол),  $k = \overline{0 \div 3}$ .

Тогда, затраты на производство неупакованной молотой соли с противослеживающей добавкой:

$$SS^j(A_2) = SS^j(A_I) + SS^j(ПС),$$

где:  $SS^j(ПС)$  — затраты на внесение противослеживающей добавки.

$$SS^j(ПС) = \begin{cases} SS^j(ПС_1), \\ SS^j(ПС_2) \end{cases}$$

где:  $SS^j(ПС_1)$  — добавка до 10 г/т,

$SS^j(ПС_2)$  — добавка до 150 г/т.

Аналогично, затраты на производство сеяной соли, отгружаемой неупакованной в ж/д или автотранспорт (навал):

$$SS^j(A_3) = SS^j(A_C) + SS^j(A_8) + SS^j(A_9)$$

Внесение противослеживающей добавки в сеяную соль, отгружаемую неупакованной, определяет издержки:

$$SS^j(A_4) = SS^j(A_C) + SS^j(A_8) + SS^j(ПС).$$



Калькуляция затрат на производство фасованной соли:

$$SS^j(A_5) = SS^j(A_C) + SS^j(A_8) + SS^j(\Phi),$$

где:  $SS^j(\Phi)$  — издержки фасовки,

$$SS^j(\Phi) = \{SS^j(\Phi_n)\},$$

$n = \overline{1 \div 5}$  — количество видов фасовки.

Затраты на затаренную в мешки соль:

$$SS^j(A_6) = SS^j(M) + SS^j(T),$$

где:  $SS^j(T)$  — издержки затаривания.

Калькуляция соли, затаренной в мешки по 50 кг.:

$$SS^j(A_6^1) = SS^j(M) + SS^j(T_1).$$

Аналогично выполнена формализация связей для соли, затаренной в мешки 25 и 50 кг.

Издержки производства соли, затаренной в МКР:

$$SS^j(A_7) = SS^j(M) + SS^j(TB),$$

где:  $SS^j(TB)$  — затраты на 1 т. МКР.

**Выводы.** Проведен анализ особенностей процесса переработки рудничной соли, объемов реализуемых видов продукции, временных характеристик производства и реализации продукции ГП «Артемсоль», на основании которого построена логико-формальная модель производственных затрат, необходимая для задач планирования и оперативного управления производством. Представленная модель может использоваться для оценки производственных характеристик комплексов переработки природных материалов.

### **Список литературы:**

1. Криводубский О.А. Разработка системы управления ГПО «Артемсоль» / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту Донецьк: ДІАТ, 2008. — С. 37—41.
2. Криводубский О.А. Математическая модель планирования производства соли / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. — 2008. — № 2 (29). — С. 107—110.
3. Чикунов П.А. Функциональные особенности системы подготовки принимаемых решений ГП «Артемсоль» / П.А. Чикунов // Системи обробки інформації. — 2012. — № 3 (101) — С. 107—110.

## **2.2. УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

### **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФИНАНСИРОВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

***Нескородева Татьяна Васильевна***

*канд. техн. наук, доцент Донецкого национального университета,  
г. Донецк Украина*

***Рябченко Алексей Александрович***

*студент 2 курса Учетно-финансового факультета  
Донецкого национального университета,  
г. Донецк Украина*

*E-mail: [ya.ya.ya.pas@yandex.ua](mailto:ya.ya.ya.pas@yandex.ua)*

### **OPTIMAL CONTROL OF THE FINANCING OF THE PRODUCTION OF BIO-ENERGY IN THE ENTERPRISES OF THE INDUSTRY**

***Neskorodeva Tatyana***

*candidate of engineering sciences associate professor  
of Donetsk National University,  
Donetsk*

***Ryabchenko Alexey***

*student of the 2-nd course of the accounting and financial faculty  
of Donetsk national university,  
Donetsk*

#### **АННОТАЦИЯ**

Целью статьи является разработка способов оптимального использования оборотных средств для финансирования производства.

С помощью анализа оптимального решения для предприятий биоэнергетической отрасли определяются излишки недефицитных ресурсов. Это позволяет сократить финансирование производственной программы за счет сокращения запасов недефицитных ресурсов.

#### **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to develop methods of optimal use of working capital to finance production. With the analysis of the optimal solutions for enterprises bioenergy sector surpluses are determined not scarce resources. This allows you to cut funding for the production of the program by reducing the reserves not scarce resources.

**Ключевые слова:** оптимальное решение; биоэнергетическая отрасль; управление оборотными средствами.

**Keywords:** optimal solution; the bioenergy industry; working capital management.

Финансирование деятельности предприятий в настоящее время характеризуется нехваткой оборотных средств и дороговизной краткосрочных кредитов, поэтому актуальной является проблема оптимального управления финансированием производства в частности за счет сокращения объемов финансирования производственной программы при сохранении объемов производства. Данный вопрос особенно актуален для предприятий биоэнергетической отрасли так как затраты на закупку сырья составляют по разным оценкам 50 %—60 % в структуре себестоимости готовой продукции.

Эффективное управление оборотным капиталом ведет к сокращению расходов и снижает риск дефицита денежных средств компании. С помощью оптимального управления денежными средствами, дебиторской задолженностью и товарно-материальными запасами предприятие может максимизировать норму прибыли и минимизировать свою ликвидность и коммерческий риск. Сумма, инвестируемая в каждую из позиций оборотных активов, может ежедневно изменяться и должна тщательно контролироваться для обеспечения наиболее продуктивного использования денежных средств.

В биоэнергетической компании имеется 4 предприятия ( $n = 4$ ):

1. ООО «Агростильплюс»
2. ЧП «Биопал ИФ»
3. ООО «Промышленный альянс»
4. ООО «Союзстройснаб»

Биоэнергетическими предприятиями выпускается 4 вида продукции ( $k = 4, j = 1, k$ ): древесные гранулы первого класса, древесные промышленные гранулы, гранулы из соломы, гранулы из лузги подсолнечника — твердого биотоплива. Для обеспечения производства используется 6 видов сырья ( $l = 6, m = \overline{1, l}$ ): отходы деревообработки, дрова, отходы лесозаготовки, солома, зерно, лузга подсолнечника. Нормы расходов сырья ( $a_{mij}$ ), общий объем сырья предприятия ( $b_{mi}$ ), цена ( $c_{ij}$ ) и себестоимость каждого ( $v_{ij}$ ) из 4 видов продукции представлены в Табл. 1.—Табл. 4.

1. Требуется найти такой план выпуска продукции, при котором суммарная прибыль всех предприятий одной отрасли была бы максимальной.

**Таблица 1.**

**Данные, характеризующие выпуск продукции на ООО «Агростильплюс»**

Сырьё (на пр-во 1 т продукции):	Продукция			
	Древесные гранулы первого класса	Древесные промышленные гранулы	Гранулы из соломы	Гранулы из лузги подсолнечника
-отходы деревообработки, $m^3 / t$	450	345	—	—
-дрова, $m^3 / t$	370	570	—	—
-отходы лесозаготовки, $m^3 / t$	180	85	—	—
-солома, т	—	—	0,9	—
-зерно, т	—	—	0,1	0,2
-лузга подсолнечника, т	—	—	—	0,8
Себестоимость каждого вида продукции, грн.	1720	960	620	650
Цена реализации т продукции, грн.	1760	1250	860	980
Минимальный объем планируемого производства, т/день	0	0	0	0
Максимальный объем планируемого производства, т/день	22	20	24	21

Таблица 2.

Данные, характеризующие выпуск продукции  
на ЧП «Биопал ИФ»

Сырьё (на пр-во 1 т продукции):	Продукция			
	Древесные гранулы первого класса	Древесные промышленные гранулы	Гранулы из соломы	Гранулы из лузги подсолнечника
-отходы деревообработки, $m^3 / t$	515	365	—	—
-дрова, $m^3 / t$	230	450	—	—
-отходы лесозаготовки, $m^3 / t$	255	185	—	—
-солома, т	—	—	0,8	□
-зерно, т	—	—	0,2	0,25
-лузга подсолнечника, т	—	—	—	0,75
Себестоимость каждого вида продукции, грн.	1340	1010	670	720
Цена реализации т продукции, грн.	1780	1220	725	800
Минимальный объем планируемого производства, т/день	0	0	0	0
Максимальный объем планируемого производства, т/день	21	19	23	21

Таблица 3.

Данные, характеризующие выпуск продукции  
на ООО «Промышленный альянс»

Сырьё (на пр-во 1 т продукции):	Продукция			
	Древесные гранулы первого класса	Древесные промышленные гранулы	Гранулы из соломы	Гранулы из лузги подсолнечника
-отходы деревообработки, $m^3 / t$	630	440	—	—
-дрова, $m^3 / t$	210	360	—	—
-отходы лесозаготовки, $m^3 / t$	160	200	—	—
-солома, т	—	—	0,7	—

-зерно, т	—	—	0,3	0,23
-лузга подсолнечника, т	—	—	—	0,77
Себестоимость каждого вида продукции, грн.	1220	945	580	635
Цена реализации т продукции, грн.	1575	950	720	1120
Минимальный объем планируемого производства, т/день	0	0	0	0
Максимальный объем планируемого производства, т/день	24	22	26	23

*Таблица 4.*

**Данные, характеризующие выпуск продукции на ООО «Союзстройснаб»**

Сырьё (на пр-во 1 т продукции):	Продукция			
	Древесные гранулы первого класса	Древесные промышленные гранулы	Гранулы из соломы	Гранулы из лузги подсолнечника
-отходы деревообработки, $m^3 / t$	450	450	—	—
-дрова, $m^3 / t$	360	350	—	—
-отходы лесозаготовки, $m^3 / t$	190	200	—	—
-солома, т	—	—	0,65	—
-зерно, т	—	—	0,35	0,18
-лузга подсолнечника, т	—	—	—	0,82
Себестоимость каждого вида продукции, грн.	1140	1190	700	630
Цена реализации т продукции, грн.	1665	1550	1240	1100
Минимальный объем планируемого производства, т/день	0	0	0	0
Максимальный объем планируемого производства, т/день	18	17	20	19

Таблица 5.

Объем имеющихся ресурсов в отрасли

Сырьё (на пр-во 1 т продукции):	отходы деревообра- ботки, $m^3 / t$	дрова, т	отходы лесозага- товки, $m^3 / t$	солома, т	зерно, т	лузга подсол- нечника, т
Наличие ресурсов	83550	45880	30240	57	37,7	65,75

Введем переменные:  $x_{ij}$  ( $j = \overline{1,4}; i = \overline{1,4}$ ) — количество продукции  $j - \text{го}$  вида на  $i - \text{ом}$  предприятии, которое предполагается выпускать, т.

Тогда  $(c_{ij} - v_{ij}) \cdot x_{ij}$  — прибыль от реализации 1 т продукции  $j - \text{го}$  вида на  $i - \text{ом}$  предприятии

Целевая функция (максимизация суммарной прибыли всех предприятий данной отрасли):

$$Z = (c_{11} - v_{11}) \cdot x_{11} + (c_{12} - v_{12}) \cdot x_{12} + (c_{13} - v_{13}) \cdot x_{13} + (c_{14} - v_{14}) \cdot x_{14} + \\ + (c_{21} - v_{21}) \cdot x_{21} + (c_{22} - v_{22}) \cdot x_{22} + (c_{23} - v_{23}) \cdot x_{23} + (c_{24} - v_{24}) \cdot x_{24} + \\ + (c_{31} - v_{31}) \cdot x_{31} + (c_{32} - v_{32}) \cdot x_{32} + (c_{33} - v_{33}) \cdot x_{33} + (c_{34} - v_{34}) \cdot x_{34} + \\ + (c_{41} - v_{41}) \cdot x_{41} + (c_{42} - v_{42}) \cdot x_{42} + (c_{43} - v_{43}) \cdot x_{43} + (c_{44} - v_{44}) \cdot x_{44} \Rightarrow \max$$

Введем ограничения по сырью:

ограничение по отходам деревообработки,  $m^3 / t$

$$450 \cdot x_{11} + 345 \cdot x_{12} + 515 \cdot x_{21} + 365 \cdot x_{22} + 630 \cdot x_{31} + 440 \cdot x_{32} + 360 \cdot x_{41} + \\ + 350 \cdot x_{42} \leq 83550$$

ограничение по дровам,  $m^3 / t$

$$370 \cdot x_{11} + 570 \cdot x_{12} + 230 \cdot x_{21} + 450 \cdot x_{22} + 210 \cdot x_{31} + 360 \cdot x_{32} + 450 \cdot x_{41} + \\ + 450 \cdot x_{42} \leq 45880$$



ограничение по отходам лесозаготовки,  $m^3 / m$

$$180 \cdot x_{11} + 85 \cdot x_{12} + 255 \cdot x_{21} + 185 \cdot x_{22} + 160 \cdot x_{31} + 200 \cdot x_{32} + 190 \cdot x_{41} + 200 \cdot x_{42} \leq 30240$$

ограничение по соломе, т

$$0,9 \cdot x_{13} + 0,8 \cdot x_{23} + 0,7 \cdot x_{33} + 0,65 \cdot x_{43} \leq 57$$

ограничение по зерну, т

$$0,1 \cdot x_{13} + 0,2 \cdot x_{14} + 0,2 \cdot x_{23} + 0,25 \cdot x_{24} + 0,3 \cdot x_{33} + 0,23 \cdot x_{34} + 0,35 \cdot x_{43} + 0,18 \cdot x_{44} \leq 37,7$$

ограничение по лузге подсолнечника, т

$$0,8 \cdot x_{14} + 0,75 \cdot x_{24} + 0,77 \cdot x_{34} + 0,82 \cdot x_{44} \leq 65,75$$

Введем ограничения по производственным мощностям предприятия, т/день (на примере ООО «Агростильплюс»):

$$0 \leq x_{11} \leq 22$$

$$0 \leq x_{12} \leq 20$$

$$0 \leq x_{13} \leq 24$$

$$0 \leq x_{14} \leq 21$$

В ходе решения задачи были получены следующие результаты с помощью симплекс-метода:

**Таблица 6.**

<b>Предприятие</b>	<b>Тип продукции</b>	<b>Необходимый объем производимой продукции, т/день</b>
ООО «Агростильплюс»	Древесные гранулы первого класса	9,81
	Древесные промышленные гранулы	20,00
	Гранулы из соломы	24,00
	Гранулы из лузги подсолнечника	21,00
ЧП «Биопал ИФ»	Древесные гранулы первого класса	21,00
	Древесные промышленные гранулы	19,00
	Гранулы из соломы	5,25
	Гранулы из лузги подсолнечника	20,88
ООО «Промышленный альянс»	Древесные гранулы первого класса	24,00
	Древесные промышленные гранулы	0,00
	Гранулы из соломы	26,00
	Гранулы из лузги подсолнечника	23,00
ООО «Союзстройснаб»	Древесные гранулы первого класса	18,00
	Древесные промышленные гранулы	17,00
	Гранулы из соломы	20,00
	Гранулы из лузги подсолнечника	19,00

Для достижения максимальной прибыли (она составила 92686,58 грн.) от реализации товара в отрасли при данных ограничениях предприятиям необходимо производить количество продукции каждого вида, указанное в табл. 6.

Для проведения экономического анализа решения задачи линейного программирования можно использовать Microsoft Excel (пакет «Поиск решения»), в результате чего мы получим три типа отчетов: отчет по результатам, отчет по устойчивости, отчет по пределам.

Таблица 7.

## Отчет по результатам

Клетка целевой функции (Максимум)		Сходное значение	Остаточное значение
Клетка	Название		
\$B\$30	Целевая функция (для всей отрасли)	92686,58	92686,58243

## Ограничения

Клетка	Название	Значение	Формула	Состояние	Допуск
\$R\$19	Расход ресурса — отходы деревообработки, м3/т	59934,86	\$R\$19<=\$T\$19	Не связанные	23615,14
\$R\$20	Расход ресурса — дрова, т	45880,00	\$R\$20<=\$T\$20	Связанные	0
\$R\$21	Расход ресурса — отходы лесозаготовки, м3/Ат	22995,95	\$R\$21<=\$T\$21	Не связанные	7244,05
...	...	...	...	...	...
\$O\$29	Древесные промыш- ленные гранулы-4	17,00	\$O\$29<=\$O\$28	Связанные	0
\$P\$29	Гранулы из соломы-4	20,00	\$P\$29<=\$P\$28	Связанные	0
\$Q\$29	Гранулы из лузги подсолнечника-4	19,00	\$Q\$29<=\$Q\$28	Связанные	0

Таблица 8.

## Отчет по устойчивости

Клетка	Название	Оста- точное значе- ние	Умень- шенная стоимость	Целевая функция, коэффи- циент	Допус- тимое увели- чение	Допустимое уменьшение
\$B\$29	Древесные гранулы первого класса-1	9,81	0	40	132,66	34,861
\$C\$29	Древесные промышленные гранулы-1	20	228,37	290	1E+30	228,3783784
\$D\$29	Гранулы из соломы-1	24	178,125	240	1E+30	178,125
...	...	...	...	...	...	...
\$O\$29	Древесные промышленные гранулы-4	17	322,16	360	1E+30	322,16

\$P\$29	Гранулы из соломы-4	20	495,31	540	1E+30	495,31
\$Q\$29	Гранулы из лузги подсолнечника-4	19	382,53	470	1E+30	382,53
\$R\$19	Расход ресурса-отходы деревообработки, м3/т	59934,86	0	83550	1E+30	23615,13
\$R\$20	Расход ресурса-дрова, т	45880	0,108	45880	4510	3630
...	...	...	...	...	...	...
\$R\$24	Расход ресурса-лузга подсолнечника, т	65,75	106,66	65,75	0,09	15,66

По полученным отчетам можно сделать следующие рекомендации лицу принимающему решение:

ресурсы «дрова», «солома» и «лузга подсолнечника» являются дефицитными, т. е. в оптимальном решении используются полностью. На это указывает Статус соответствующих ресурсов отчета по Результатам или ненулевые значения теневых цен (двойственных оценок) отчета по Устойчивости. Эти ресурсы следует наращивать, если возникает необходимость увеличить прибыль отрасли;

### Список литературы:

1. Глухов В.В., Медников М.Д., Коробко С.Б. Математические методы и модели для менеджмента. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Издательство «Лань», 2005. — 528 с.
2. Емельянов Александр Анатольевич. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. пособие для студентов по специальности «Приклад. информатика (по обл.)», а также по др. компьютер. специальностям и направлениям / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума. М.: Финансы и статистика, 2005. — 364 с.
3. Полякова Ольга Юрьевна. Моделирование системных характеристик экономики: учеб. пособие / О.Ю. Полякова, А.В. Милов. 2-е изд. Харьков: ИНЖЭК, 2006. — 292 с.
4. Экономико-математические методы и модели: практика применения в курсовых и дипломных работах: учебное пособие / В.В. Христиановский, Т.В. Нескорородева, Ю.Н. Полшков; под ред. В.В. Христиановского. Донецк: ДонНУ, 2012. — 325 с.
5. Хаустова Виктория Евгеньевна. Моделирование маркетинговой стратегии предприятия на рынках продукции производственно-технического назначения / В.Е. Хаустова, Ю.А. Лидовский. Харьков: ИНЖЭК, 2004. — 175 с.

## **2.3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОПОРТАЛОВ**

*Якубайлик Олег Эдуардович*

*канд. физ.-мат. наук, с.н.с. ИВМ СО РАН,  
г. Красноярск*

*E-mail: [oleg@icm.krasn.ru](mailto:oleg@icm.krasn.ru)*

### **RESEARCH OF CAPABILITIES OF MODERN SOFTWARE AND TECHNOLOGIES FOR GEOPORTAL DEVELOPMENT**

*Oleg Yakubailik*

*candidate of Science, Senior researcher, Institute of Computational  
Modelling, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
Krasnoyarsk*

#### **АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена анализу программного обеспечения для геопорталов. Дается краткая историческая справка по геопорталам, опыту и практике создания национальных инфраструктур пространственных данных. Обсуждаются основные задачи, решение которых обеспечивают геопорталы. Перечисляются наиболее распространенные инструментальные программные средства для ведения каталога пространственных метаданных и обеспечения работы картографических веб-сервисов.

#### **ABSTRACT**

This article analyzes the software for geoportals. A brief historical background on the experience and practice of the national spatial data infrastructures and geoportal software is presented. The main problems

which decision is provided by geoportals are discussed. The most common software tools for spatial metadata cataloging and maintenance of web mapping services are listed.

**Ключевые слова:** геопортал; веб-сервис; веб-картография; создание архива геоданных; веб-ГИС, пространственные метаданные; ИПД; инфраструктура пространственных данных.

**Keywords:** geportal; web service; web mapping; spatial data archive; web GIS; spatial metadata4; SDI, spatial data infrastructure.

Появление геопорталов тесно взаимосвязано с развитием сервисов глобальной сети Интернет. Поскольку геопорталы характеризуются относительно высокими требованиями к функциональным возможностям, интерактивному пользовательскому интерфейсу — в первые годы существования Интернета их практически не было. Однако в настоящее время они появляются как грибы после дождя [1].

Чуть более 20 лет назад, в 1989—91 гг. англичанин Тим Бернерс-Ли из Европейской лаборатории по ядерным исследованиям CERN сформулировал основные принципы передачи информации между компьютерами в виде гипертекста, начал реализацию проекта ныне известного как Всемирная паутина (WWW), создал первые веб-сервер и веб-браузер, первые редакции спецификаций URI, HTTP и HTML. К тому моменту времени Интернет уже превратился в самую разветвленную и мощную сеть в мире. Предусмотренные предложенными веб-стандартами возможности размещения в Интернете растровых изображений с момента своего появления стали использоваться различными организациями и отдельными специалистами для публикации геоизображений — карт и атласов, аэро- и космических снимков. Также начали применяться доступные интерактивные средства для их представления и обработки, анимации.

Примерно в 1992—94 впервые формулируется концепция геопортала — в рамках национальной инфраструктуры пространственных данных США (NSDI Clearinghouse Network), формирование которой началось с 1994 г. под руководством Федерального комитета по геоданным (Federal Geospatial Data Committee — FGDC). Позднее, в 2003 г., в рамках инициативы «электронное правительство», был создан геопортал Geospatial One-Stop (GOS). В отличие от NSDI Clearinghouse Network, в основе геопортала GOS лежала централизованная база каталогов метаданных, которые связывают клиентов с поставщиками геоданных и геопродуктов. Пользователь GOS по своему усмотрению может использовать обычный веб-браузер

(тонкий клиент) или работать с пространственными данными в режиме прямого доступа из ГИС (толстый клиент). В 2011 г. геопортал GOS стал составной частью проекта Data.gov — новой инициативы администрации США в рамках концепции создания открытого правительства.

Национальные геопорталы как системообразующие элементы ИПД начали создаваться с середины 90-х. В частности, Discovery Portal ИПД Канады (CGDI) стартовал в 1996 г.; он выполняет ту же роль, что и GOS в США. Австралийский каталог пространственных данных ASDD создан в 1998 г., национальный Geo-Portal ИПД Испании IDEE открыт в 2004 г., геопортал ИПД Франции IFDG Geoportail — в 2006 г. Можно также отметить геопортал ИПД Европейского Союза INSPIRE, геопортал ИПД ООН UNSDI, специализированный (или тематический) геопортал по контролю выбросов углекислого газа в США NatCarb, и проч. Сегодня практически все развитые страны Европы, Америки и Азии имеют национальные геопорталы ИПД.

Национальная ИПД начинает формироваться и в России. В 2006 г. Правительством РФ принята «Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации», а в 2012 г. в Росреестре запущен в опытно-промышленную эксплуатацию Геопортал ИПД РФ. В соответствии с введенными в России регламентами, государственные структуры, создающие и использующие пространственные данные, теперь должны предоставлять их в государственные картографо-геодезические фонды для последующей публикации. Информация должна предоставляться в электронной форме: как XML-документ, отправленный по e-mail, или через веб-сервисы. При этом должны будут действовать единые стандарты на такую информацию [2].

Веб-картография за последнее десятилетие превратилась из известной только узкому кругу специалистов технологии в широко распространенную динамично развивающуюся отрасль деятельности, в сферу интересов которой вовлекаются все новые задачи. Программное обеспечение для веб-картографии можно охарактеризовать как комплекс взаимодополняющих программных средств, которые решают различные задачи — от ввода и редактирования элементарных векторных данных до настройки параметров картографических веб-сервисов в каталоге пространственных метаданных. Одним из компонентов в этом наборе программных средств являются геопорталы — прежде всего как инструмент поиска геопро пространственной информации, обеспечения доступа к геоданным. Роль

геопорталов возрастает по мере роста объемов данных, развития информационной инфраструктуры [3].

В соответствии с общепринятым пониманием термина «геопортал», его программное обеспечение как минимум должно обеспечивать решение следующих двух задач:

- ведение каталога пространственных метаданных, с набором необходимых операций — ввод, редактирование, удаление метаданных, и т. д.; средства поиска по метаданным — по категориям, пространственному местоположению, ключевым словам, и т. п.
- обеспечение «веб-сервисов» — средств визуализации представленных на портале пространственных данных и их загрузки на компьютеры пользователей, интерфейсов для обеспечения прямого доступа к данным, их преобразования, и проч.

Геопорталы обычно имеют возможности разграничения прав доступа пользователей, что позволяет создавать ресурсы ограниченного доступа, формировать персональные настройки и ресурсы.

Решение рассмотренных двух задач нередко обеспечивается различными программными продуктами, которые работает совместно, дополняя друг друга. Типичный пример — поддержка каталога пространственных метаданных с помощью программного обеспечения GeoNetwork Opensource, а «веб-сервисов» — средствами комбинированной программной платформы GeoServer, объединяющей в себе сервер приложений и сервер веб-приложений, которая позволяет создавать стандартные картографические веб-сервисы и представлять их в виде интерактивных карт.

Как и в других категориях программного обеспечения, можно условно разделить существующие программные решения на два типа — коммерческие программные продукты и свободное программное обеспечение с открытым исходным кодом. Нередко используют и комбинированные решения — система может быть построена на основе компонентов разной степени открытости. Также стоит упомянуть «особые случаи», которые в последнее время стали нередкими — когда компании, занимающиеся разработкой коммерческих продуктов, выпускают и поддерживают свободное программное обеспечение — продукты с открытым исходным кодом. Примеры: компанией Autodesk создана и развивается геоинформационная платформа MapGuide Open Source, а один из ведущих разработчиков ГИС — компания ESRI — выпускает на рынок ESRI Geoportal Server. Оба этих продукта распространяются как свободное программное обеспечение ГИС с открытым исходным кодом.



Поддержка базы метаданных при создании геопорталов сегодня обычно не вызывает проблем у разработчиков — структура данных относительно простая, и она хорошо формализована стандартами в виде UML-диаграмм. Примерами «готовых» серверов баз пространственных метаданных в классе свободных программ с открытым исходным кодом являются GeoNetwork OpenSource, ESRI Geoportal Server, EasySDI. Клиентское программное обеспечение, которое обеспечивает ввод и редактирование пространственных метаданных, обычно интегрируется в прикладные ГИС, например ESRI ArcCatalog, MapInfo Manager, модуль расширения NextGIS Metatools для QuantumGIS, и проч.

При разработке картографических веб-сервисов могут быть использованы различные инструментальные программные средства. Среди зарубежных продуктов следует, прежде всего, назвать ESRI ArcIMS и ArcGIS Server, Autodesk MapGuide, Intergraph GeoMedia, Pitney Bowes MapXtreme, Bentley Geo Spatial Server и Bentley Geo Web Publisher, и проч., среди российских — «ГеоКонструктор Web-сервер» (ЦГИ ИГ РАН), «ИнГео MapW» (ЦСИ «Интегро», Уфа), GIS WebServer (КБ «ПАНОРАМА»), WebMap (ЗАО «Резидент»), и др.

Пожалуй, наиболее распространенным программным обеспечением для построения геопорталов в последние годы стали продукты ESRI. На их основе созданы национальные и региональные геопорталы ИПД многих стран мира, отраслевые решения для крупных корпораций. В алфавитном перечне программных продуктов на сайте этой компании насчитывается уже более 100 позиций; на основе этих продуктов системные интеграторы формируют решения для заказчиков. Характерным примером подобного типа разработки является созданное в России компаниями DATA+ и ESRI CIS типовое программное решение «ИПД Регион», позволяющее в кратчайшие сроки построить инфраструктуру пространственных данных регионального уровня. «ИПД Регион» использует ГИС-платформу на базе ArcGIS Server для публикации пространственных данных и сервисов, ESRI Geoportal Server для публикации сервиса метаданных и предоставления интерфейса портала, а также ArcGIS Desktop ArcEditor — рабочее место ГИС-специалиста для подготовки данных к публикации и управления ГИС-платформой.

Среди программного обеспечения геопорталов следует особо упомянуть распространенные в нашей стране разработки инженерно-технологического центра (ИТЦ) «СканЭкс» (сервисы ScanEx GeoMixer и решения на их основе) и ОАО «НПК «РЕКОД» (геопортал РЕКОД). Значительное внимание в этих разработках уделяется средствам

работы с каталогами данных дистанционного зондирования, но их функциональные возможности не ограничиваются организацией доступа к спутниковым снимкам. Предоставляются средства визуализации пространственных данных, разработки пользовательских порталных приложений для поиска, отображения и публикации ГИС-ресурсов.

### **Список литературы:**

1. Кадочников А.А. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов / А.А. Кадочников [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. — 2008. — Т. 1. — № 4. — С. 377—386.
2. Якубайлик О.Э. Геоинформационная Интернет-система мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли // Вестник СибГАУ. — 2010. — Т. 1(27). — С 40—45.
3. Якубайлик О.Э. Технологии для геоинформационных Интернет-систем / О.Э. Якубайлик, В.Г. Попов // Вычислительные технологии. — 2009. — Т. 14. — № 6. — С. 116—126.

## **2.4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИЗАЙНЕ И АРХИТЕКТУРЕ МАЛЫХ ФОРМ**

***Мисюра Наталья Евгеньевна***

*старший преподаватель ИНФО УРФУ,*

*г. Екатеринбург*

*E-mail: [n\\_misura@mail.ru](mailto:n_misura@mail.ru)*

***Берестова Светлана Александровна***

*д-р физ.-мат. наук, доцент ИНФО УРФУ,*

*г. Екатеринбург*

*E-mail: [s.a.berestova@urfu.ru](mailto:s.a.berestova@urfu.ru)*

### **MATHEMATICAL MODELING IN DESIGN AND IN HARD LANDSCAPING**

***Natalia Musyura***

*head teacher of Institute of Fundamental Education*

*of Ural Federal University,*

*Ekaterinburg*

***Svetlana Berestova***

*doctor of Physical and Mathematical Sciences, associate professor*

*of Institute of Fundamental Education of Ural Federal University,*

*Ekaterinburg*

#### **АННОТАЦИЯ**

В работе рассмотрены примеры использования математических методов при формообразовании элементов декора и малых архитектурных форм. В частности представлены аналитические алгоритмы построения пространственных конструкций сложной конфигурации.

## ABSTRACT

The article examines the examples of mathematical methods use when décor and hardscape elements shaping. Namely there are presented analytic space construction algorithms of complicated configuration.

**Ключевые слова:** математический дизайн; розы Гвидо Гранди; каналовые поверхности; линейчатые поверхности.

**Keywords:** mathematical design; roses of Guido Grandi; canal surfaces; ruled surfaces.

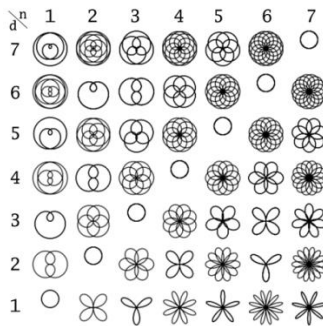
Появление математического дизайна смело можно связать с именем итальянского монаха Гвидо Гранди (1671—1742). В математике Гранди известен его работой *Flores geometrici* (1728), изучавшей розы — кривые, которые имеют форму лепестков цветка. Он назвал розы кривой rhodopea и назвал кривую Clelia в честь графини Клелии Боррмео.

Уравнение розы Гвидо Гранди в полярных координатах имеет вид

$$r = R \sin \omega \varphi$$

$$\omega = \frac{n}{d}$$

Задавая параметр  $\frac{n}{d}$  отношением натуральных чисел можно получить замкнутые кривые, при определенных условиях превращающиеся в лепестковые цветы или в ажурные розетки, которые могут служить элементами декора или орнамента.



**Рисунок 1. Розы Гвидо Гранди [1]**

Современные информационные технологии и методы компьютерной геометрии позволяют создавать не только плоские художественные графические формы с использованием тех или иных математических алгоритмов, но и объемные декоративные элементы на основе универсальных математических моделей. К одной из таких моделей может быть отнесена каналовая поверхность [3], уравнение которой записывается в следующем виде:

$$\hat{r} = \hat{r}_n(t) + \rho(t, \varphi) \cos \varphi \hat{n}(t) + \rho(t, \varphi) \sin \varphi \hat{b}(t), \quad (1)$$

где:  $\hat{r}_i = \hat{r}_i(t)$  — уравнение гладкой регулярной направляющей кривой,

$\hat{n}(t), \hat{b}(t)$  — единичные векторы нормали и бинормали этой кривой

$$\hat{\tau} = \frac{d\hat{r}_i/dt}{|d\hat{r}_i/dt|}, \quad \hat{n} = \frac{d\hat{\tau}/dt}{|d\hat{\tau}/dt|}, \quad \hat{b} = \hat{\tau} \times \hat{n}. \quad (2)$$

Единичные векторы касательной  $\hat{\tau}$ , нормали  $\hat{n}$  и бинормали  $\hat{b}$  образуют подвижный ортогональный базис, перемещающийся вдоль направляющей кривой.

В качестве иллюстрации метода построения каналовых поверхностей построим воронку с направляющей кривой в виде параболы

$$\hat{r}_i = \begin{pmatrix} 0 \\ t \\ t^2 \end{pmatrix},$$

В случае, когда функция  $\rho(t, \varphi)$  задается равенством  $\rho = kt$ .

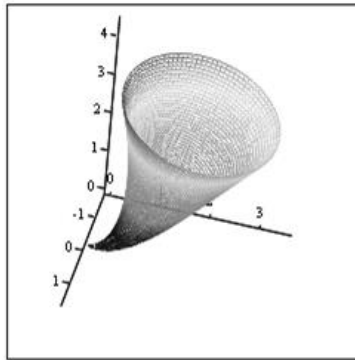
Замечая, что вектор бинормали направлен по оси  $Ox$ , с учетом формул (2)) находим

$$\hat{\tau} = \frac{1}{\sqrt{1+4t^2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2t \end{pmatrix}, \quad \hat{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{n} = \hat{b} \times \hat{\tau} = \frac{1}{\sqrt{1+4t^2}} \begin{pmatrix} 0 \\ -2t \\ 1 \end{pmatrix}$$

Подстановка этих функций в равенство (1) дает уравнение воронки (рис. 2):

$$\hat{r} = \hat{r}(t, \varphi) = \begin{pmatrix} 0 \\ t \\ t^2 \end{pmatrix} + \frac{kt}{\sqrt{1+4t^2}} \cos \varphi \begin{pmatrix} 0 \\ -2t \\ 1 \end{pmatrix} + kt \sin \varphi \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ или}$$

$$\hat{r} = \begin{pmatrix} ktsin \varphi \\ t - \frac{2kt^2}{\sqrt{1+4t^2}} \cos \varphi \\ t^2 + \frac{kt}{\sqrt{1+4t^2}} \cos \varphi \end{pmatrix}.$$



**Рисунок 2. Каналовая поверхность на параболической направляющей**

Рассмотрим процедуру построение тора с направляющей кривой в виде окружности

$$\hat{r}_i = \begin{pmatrix} R \cos t \\ R \sin t \\ 0 \end{pmatrix}$$

и эллиптическими сечениями, описываемыми уравнением

$$\hat{\rho} = a \cos \varphi \hat{n} + b \sin \varphi \hat{b}.$$

Здесь  $a$  и  $b$  — полуоси эллиптических сечений.

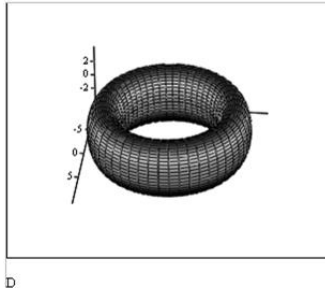
Направление вектора бинормали в данном случае совпадает с осью  $Oz$ , единичные векторы касательной и нормали имеют координаты

$$\hat{t} = \begin{pmatrix} -\sin t \\ \cos t \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{n} = \hat{b} \times \hat{t} = \begin{pmatrix} -\cos t \\ -\sin t \\ 0 \end{pmatrix}$$

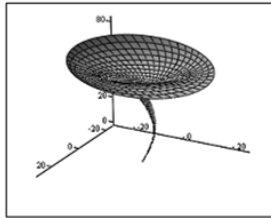
Подстановка этих значений и координат вектора  $\hat{\rho}$  в уравнение (1) позволяет записать уравнение поверхности тора, изображённого на рис. 3.

$$\hat{r}' = \hat{r}'(t, \varphi) = \begin{pmatrix} R \cos t \\ R \sin t \\ 0 \end{pmatrix} + a \cos \varphi \begin{pmatrix} -\cos t \\ -\sin t \\ 1 \end{pmatrix} + b \sin \varphi \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \cos t - a \cos \varphi \cos t \\ R \sin t - a \cos \varphi \sin t \\ a \cos \varphi \end{pmatrix}$$

Рассмотренный алгоритм построения каналовых поверхностей был использован при построении более сложных поверхностей 3D-цветов, представленных на рис. 4. У этих поверхностей направляющей кривой служит винтовая спираль, а в нормальных плоскостях расположены известные плоские кривые, параметры которых изменяются по заданному закону.

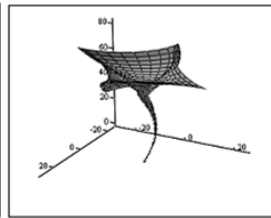


**Рисунок 3. Тор с эллиптическим сечением**



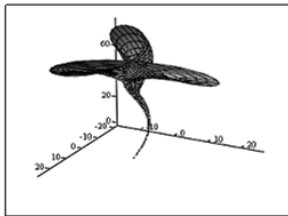
D

а) Окружность



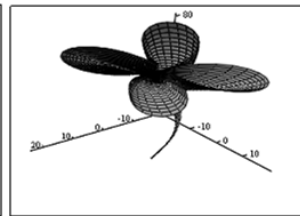
D

б) Астроида



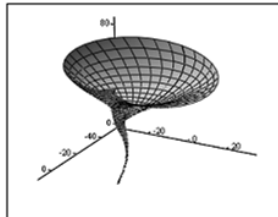
D

в) Трехлепестковая роза



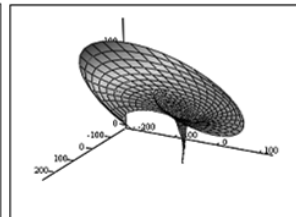
D

г) Четырехлепестковая роза



D

д) Кардиоида



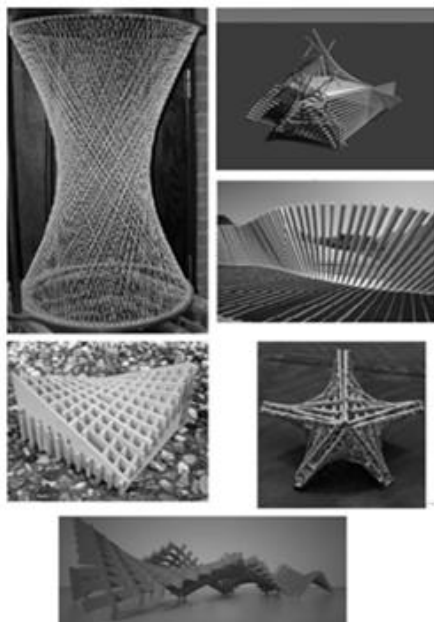
D

е) Спираль Архимеда

**Рисунок 4. 3-D цветы**



В последние годы методы математического моделирования активно используются при создании малых архитектурных форм. Примеры малых архитектурных форм с использованием линейчатых поверхностей [3] представлены на рис. 5.



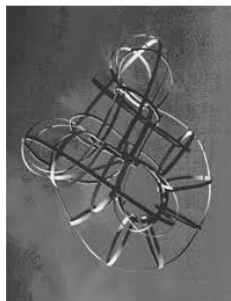
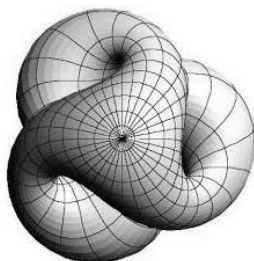
***Рисунок 5. Малые архитектурные формы выполненные с использованием линейчатых поверхностей***

В объекты искусства превращаются непосредственно и математические поверхности, примером чего могут служить поверхность Боя и бутылка Клейна. Параметрические уравнения поверхности Боя (рис. 6) имеют вид [2]:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{g_1^2 + g_2^2 + g_3^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{pmatrix};$$

где

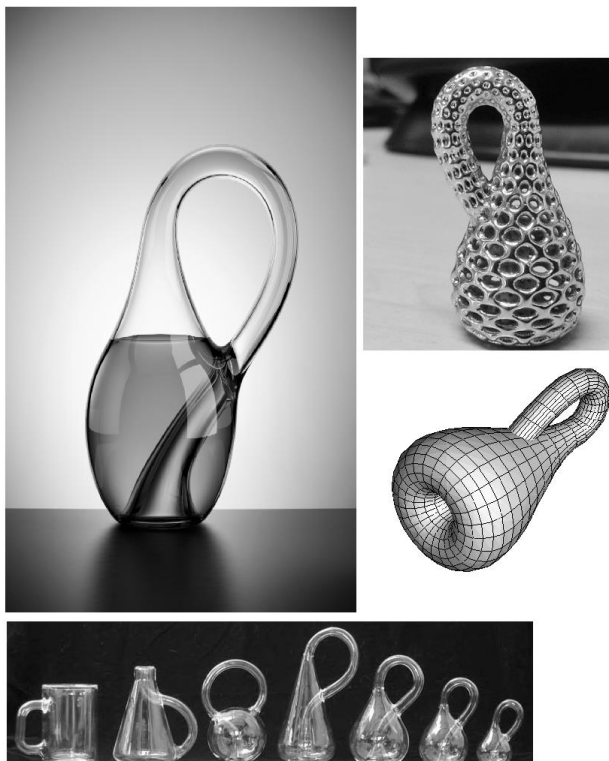
$$g_1 = -\frac{3}{2} \operatorname{Im} \left[ \frac{z(1-z^4)}{z^6 + z^3\sqrt{5}-1} \right],$$
$$g_2 = -\frac{3}{2} \operatorname{Re} \left[ \frac{z(1+z^4)}{z^6 + z^3\sqrt{5}-1} \right],$$
$$g_3 = \operatorname{Im} \left[ \frac{1+z^6}{z^6 + z^3\sqrt{5}-1} \right] - \frac{1}{2}.$$



***Рисунок 6. Малые архитектурные формы с использованием поверхности Боя***

Уравнения поверхности бутылки Клейна (рис. 7) в параметрической форме имеет вид [2] :

$$\begin{aligned}x &= \cos u \left[ \cos\left(\frac{1}{2}u\right)(\sqrt{2} + \cos v) + \sin\left(\frac{1}{2}u\right) \sin v \cos v \right], \\y &= \sin u \left[ \cos\left(\frac{1}{2}u\right)(\sqrt{2} + \cos v) + \sin\left(\frac{1}{2}u\right) \sin v \cos v \right], \\z &= -\sin\left(\frac{1}{2}u\right) \left[ (\sqrt{2} + \cos v) + \cos\left(\frac{1}{2}u\right) \sin v \cos v \right].\end{aligned}$$



*Рисунок 7. Дизайнерские объекты выполненные в форме бутылки Клейна*

### **Список литературы:**

1. Гвидо Гранди [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://freshiki.ru/forum/19-578-1> (дата обращения 06.10.2013).
2. Кривошапко С.Н, Иванов В.Н., Халаби С.Н. Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей и информация к расчёту на прочность тонких оболочек М: Наука, 2006. — 544 с.
3. Митюшов Е.А., Беяева З.В., Геометрическое моделирование пространственных конструкций Изд.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. — 135 с.

## **МАТРИЦЫ ТОРСИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

***Мисюра Наталья Евгеньевна***

*старший преподаватель ИНФО УРФУ,*

*г. Екатеринбург*

*E-mail: [n\\_misura@mail.ru](mailto:n_misura@mail.ru)*

***Жилин Сергей Сергеевич***

*магистрант ВШЭМ УРФУ,*

*г. Екатеринбург*

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

## **MATRICES OF TORSIONAL TRANSFORMATIONS**

***Natalia Musyura***

*head teacher of Institute of Fundamental Education*

*of Ural Federal University,*

*Ekaterinburg*

***Sergey Zhilin***

*master's degree student of Graduate School of Economics and Management*

*of Ural Federal University,*

*Ekaterinburg*

## АННОТАЦИЯ

Цель работы проиллюстрировать математический метод торсионного преобразования объёмных форм. Математический метод основывается, на нелинейном преобразовании трехмерного евклидова пространства. Представленный метод является наглядным, практически значимым для современного формообразования в архитектуре.

## ABSTRACT

The aim of this article is to illustrate a mathematical method of torsional transformation of three-dimensional configurations. The mathematical method is based on a nonlinear transformation of tridimensional Euclidian space. This method appears to be a descriptive and relevant for practical purposes for modern shaping in architecture.

**Ключевые слова:** торсионное формообразование, математическое моделирование в архитектуре, матрица торсионного преобразования.

**Keywords:** torsional shaping; mathematical modeling in architecture; matrix of torsional transformation.

Одним из современных специфических средств создания особой архитектурной выразительности при строительстве высотных зданий является придания им спиралевидной формы. При этом создается визуальный динамический эффект, ассоциирующийся в сознании наблюдателя с такими уникальными природными явлениями, как торнадо и тайфуны. Основоположниками этого направления в архитектуре являются выдающиеся архитекторы А.В. Коротич и С. Калатрава.

А.В. Коротич является автором «Теории модифицированных регулярных сетей», которая служит научной платформой для создания современных прогрессивных методик кристаллографического, торсионного и фрактального формообразования в архитектуре, а также автором 16 новых способов моделирования составных линейчатых оболочек, используемых при решении композиционных задач архитектурного формообразования. Методы торсионного формообразования нашли отражение в проектных работах 2005 года, представленных на рис. 1 [1—2].



*Рисунок 1. Торсионное формообразование А.В. Коротича*

Торсионное формообразование было использовано в 2007 году С. Калатравой при проектировании высотного здания «Чикагский шпиль» (рис. 2).



*Рисунок 2. Чикагский шпиль С. Калатравы [4]*

В основу торсионного формообразования может быть положен математический метод нелинейного преобразования трехмерного евклидова пространства, представленный матричным равенством:

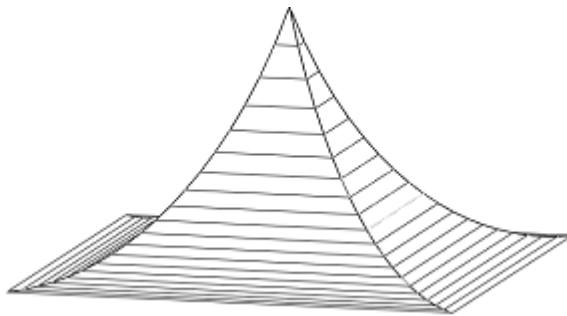
$$\begin{pmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi(z) & -\sin \varphi(z) & 0 \\ \sin \varphi(z) & \cos \varphi(z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'(u, v) \\ y'(u, v) \\ z'(u, v) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Здесь  $\begin{pmatrix} x'(u, v) \\ y'(u, v) \\ z'(u, v) \end{pmatrix}$  — вектор-столбец, задающий структурный

элемент здания до его закручивания,  $\begin{pmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{pmatrix}$  — вектор-столбец,

задающий структурный элемент здания в окончательной композиции,  $\varphi(z)$  — непрерывная функция, определяющая угол поворота произвольного горизонтального сечения здания.

В качестве иллюстрации применения матрицы торсионного преобразования рассмотрим формообразование четырехгранного высотного здания, боковые поверхности которого получаются закручиванием линейчатых поверхностей, имеющих первоначально форму эллиптических цилиндров (рис. 3).



**Рисунок 3. Модель четырехгранного здания до торсионного преобразования**

Исходным структурным элементом здания является клиновидная поверхность, которая задается уравнением эллиптического цилиндра

$$\left(\frac{x - R \cos \alpha}{a}\right)^2 + \left(\frac{z - b}{b}\right)^2 = 1, \quad (2)$$

ограниченного плоскостями

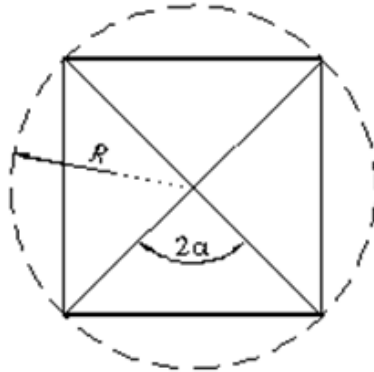
$$z = 0, \quad y = \pm x \operatorname{tg} \alpha,$$

где:  $R$  — радиус окружности, описанной около основания здания,

$a$  и  $b$  — полуоси эллипса,

$\alpha = \pi/n$  — половина внутреннего угла сектора здания (см. рис. 4),

$n$  — количество сторон основания здания.

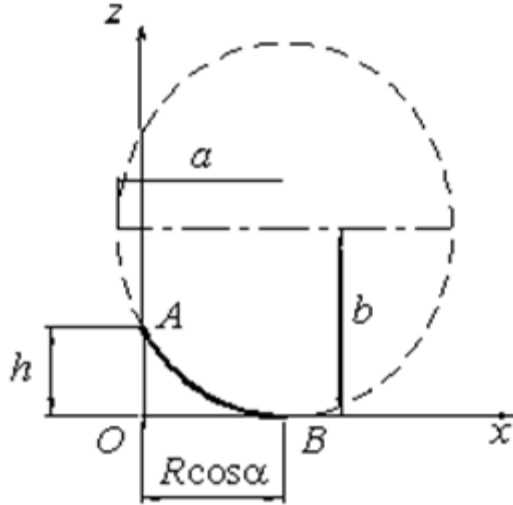


**Рисунок 4. Схема основания здания**

Полуоси эллипса (см. рис. 5) можно выразить через конструктивные параметры здания, подставляя в уравнение (2) координаты точки  $A$  и вводя обозначение  $a = kb$ :

$$\left(\frac{R \cos \alpha}{kb}\right)^2 + \left(\frac{h - b}{b}\right)^2 = 1.$$





**Рисунок 5. Сечение эллиптического цилиндра**

Отсюда

$$b = \frac{(R \cos \alpha)^2 + h^2 k^2}{2hk^2} \text{ и } a = \frac{(R \cos \alpha)^2 + h^2 k^2}{2hk}.$$

Математическая модель клина в форме элемента линейчатой цилиндрической поверхности описывается уравнением

$$\hat{r}_1 = v \hat{r}_1(z) + (1-v) \hat{r}_2(z), \quad 0 \leq v \leq 1, \quad 0 \leq z \leq h,$$

$$\text{где } \hat{r}_1(z) = \begin{pmatrix} R \cos \alpha + \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{b^2}(z-b)} \\ \left( R \cos \alpha + \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{b^2}(z-b)} \right) \operatorname{tg} \alpha \\ z \end{pmatrix}$$

$$\text{и } \hat{r}_2(z) = \begin{pmatrix} R \cos \alpha + \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{b^2}(z-b)} \\ - \left( R \cos \alpha + \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{b^2}(z-b)} \right) \operatorname{tg} \alpha \\ z \end{pmatrix} \text{ — функции,}$$

задающие направляющие кривые элемента линейчатой поверхности.

Элементы остальных клиньев здания получены поворотом первого клина относительно оси  $Oz$  на углы  $\pi/2$ ,  $\pi$  и  $3\pi/2$  с помощью соответствующих матриц аффинного преобразования:

$$\begin{aligned} \dot{O}_{\frac{\pi}{2}} &= \begin{pmatrix} \cos \frac{\pi}{2} & -\sin \frac{\pi}{2} & 0 \\ \sin \frac{\pi}{2} & \cos \frac{\pi}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad T_{\pi} = \begin{pmatrix} \cos \pi & -\sin \pi & 0 \\ \sin \pi & \cos \pi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \\ T_{\frac{3\pi}{2}} &= \begin{pmatrix} \cos \frac{3\pi}{2} & -\sin \frac{3\pi}{2} & 0 \\ \sin \frac{3\pi}{2} & \cos \frac{3\pi}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Боковые поверхности здания до его торсионного закручивания определяются следующими матричными уравнениями:

$$\hat{r}_I = \hat{r}_I(z, v), \quad \hat{r}_{II} = \dot{O}_{\frac{\pi}{2}} \hat{r}_I(z, v), \quad \hat{r}_{III} = \dot{O}_{\pi} \hat{r}_I(z, v), \quad \hat{r}_{IV} = \dot{O}_{\frac{3\pi}{2}} \hat{r}_I(z, v).$$

Вводя в уравнение (1) матрицу торсионного преобразования, обеспечивающую постоянный угол закручивания на каждую единицу высоты здания

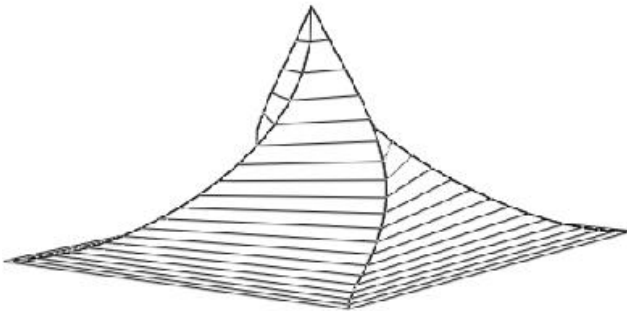
$$T(u) = \begin{pmatrix} \cos \frac{z}{h} \varphi^* & -\sin \frac{z}{h} \varphi^* & 0 \\ \sin \frac{z}{h} \varphi^* & \cos \frac{z}{h} \varphi^* & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где:  $\varphi^*$  — полный угол закручивания;

уравнения структурных элементов здания можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \hat{r}'_I &= T(z) \hat{r}_I(z, v), & \hat{r}'_{II} &= T(z) T_{\frac{\pi}{2}} \hat{r}_I(z, v), \\ \hat{r}'_{III} &= T(z) T_{\pi} \hat{r}_I(z, v), & \hat{r}'_{IV} &= T(z) T_{\frac{3\pi}{2}} \hat{r}_I(z, v). \end{aligned}$$

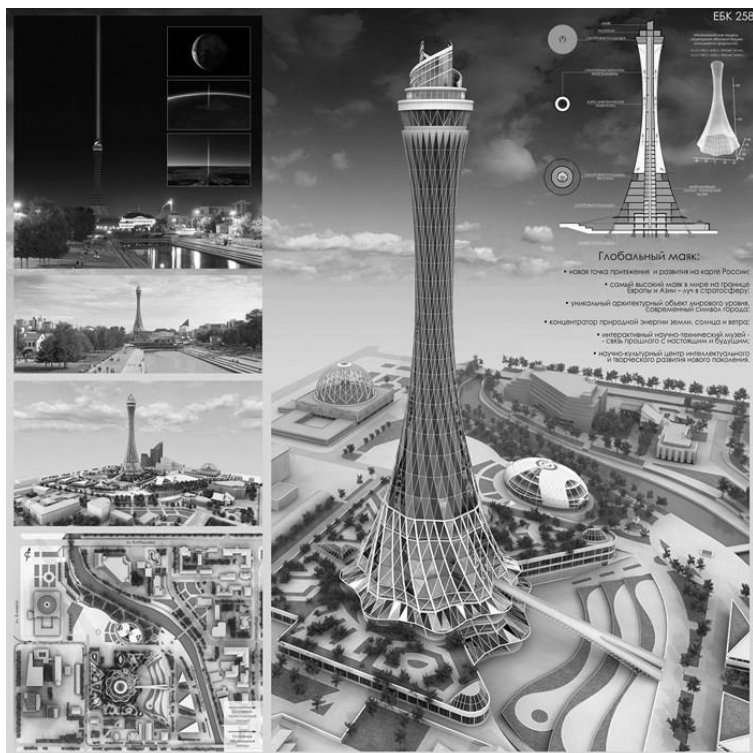
Модель здания после торсионного закручивания представлена на рис .6. При необходимости закручивания в противоположном направлении матрица торсионного преобразования транспонируется.



**Рисунок 6. Модель четырехгранного здания после торсионного преобразования**

Предложенный алгоритм формообразования структурных элементов высотных зданий позволяет путем применения матриц торсионных преобразований достаточно быстро выполнить геометрическое моделирование в одном из пакетов символьной математики с встроенным графическим редактором, предваряющее дизайнерскую и архитектурную проработку. Кроме того, это позволяет в дальнейшем удешевить проектные работ за счет возможностей получения цифровых массивов, определяющих конструктивные параметры элементов здания.

Применение матрицы торсионного преобразования нашло отражение в призовом проекте реконструкции телевизионной башни г. Екатеринбург (рис. 7).



**Рисунок 7. Призовой проект реконструкции телебашни г. Екатеринбург**

### **Список литературы:**

1. История тентовой архитектуры// [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL режим доступа <http://www.tentmax.ru/information/history/> (дата обращения 15.09.2013).
2. Коротич М.А. Композиционное развитие высотной архитектуры// Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН — 2010 — № 4, — с. 96—101.
3. Коротич М.И. Торсионное и фрактальное формообразование в архитектуре [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://www.raasn.ru/persons/o\\_arch/korotich.htm](http://www.raasn.ru/persons/o_arch/korotich.htm)(дата обращения 20.10.2013).
4. Santiago Calatrava [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://www.chicagoarchitecture.info/Building/357/The-Chicago-Spire.php&usg> (дата обращения 01.11.2013).

## **2.5. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

### **МОДЕЛЬ ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ**

**Яркова Ольга Николаевна**

*канд. экон. наук, доцент кафедры математических методов и  
моделей в экономике Оренбургского государственного университета,  
г. Оренбург*

*E-mail: [yarkova\\_on@mail.ru](mailto:yarkova_on@mail.ru)*

**Осипова Александра Александровна**

*студент специальности «Комплексная защита объектов  
информатизации» Оренбургского государственного университета,  
г. Оренбург*

*E-mail: [sandrenok92@mail.ru](mailto:sandrenok92@mail.ru)*

### **MODEL OF INTERACTIVE ELECTRONIC VOTING**

**Yarkova Olga**

*candidate of Economics, assistant professor of mathematical methods  
and models in the economy of the Orenburg State University,  
Orenburg*

**Osipova Alexandra**

*student of "Integrated protection of objects of information"  
Orenburg State University,  
Orenburg*

### **АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена актуальной проблеме автоматизации процесса голосования. Обоснована идея перехода к безбумажному голосованию. Авторами предложена модель интерактивной системы электронного голосования, особенностью которой является прозрачность процесса

для всех участников с условием сохранения тайны голосования. В основу алгоритма работы системы положены криптографические методы защиты информации. Представленная модель может послужить базой для создания системы Интернет-голосования. Материал ориентирован на специалистов по информационной безопасности.

### ABSTRACT

The article is devoted to the actual problem of automation of the voting. The idea about necessity of changing the traditional paper voting to electronic one is substantiated. The authors propose a model of interactive electronic voting, which can serve as a foundation of Internet voting system. Features of the developed system are the transparency of the process for all members and the secrecy of voting. The algorithm of the system based on cryptographic methods. The material can be interesting for specialists of information security.

**Ключевые слова:** система электронного голосования; Интернет-голосование.

**Keywords:** electronic voting system; Internet voting.

В годы стремительного развития информационных технологий многие компании создают коммуникационные системы, позволяющие пользователям выполнять необходимые операции в удобное время. Государственные службы также постепенно переходят в онлайн-режим. Исключением не является и автоматизация процесса голосования на выборах. Системы электронного голосования (СЭГ) широко используются в США, Великобритании, Ирландии, Швейцарии и Эстонии. В России существует государственная автоматизированная система «Выборы» (далее — ГАС «Выборы»), разработанная по Указу Президента РФ в 1994 г. [3].

В рамках ГАС «Выборы» избирательные участки оснащаются специальными комплексами для электронного голосования (КЭГ), в которых реализована технология безбумажного голосования по электронному бюллетеню на сенсорном устройстве. Для доступа к электронному бюллетеню избирателю выдается карточка со штрих-кодом, которая может быть использована только один раз и только на конкретном избирательном участке [1, с. 5]. Принтер позволяет вывести на печать результаты голосования, а также итоговый протокол.

Недостатком существующей СЭГ является ее стационарность: избирателям нужно прийти на участок, чтобы сделать свой выбор.

Необходимость доведения сервиса до каждого конкретного пользователя является актуальной проблемой в сфере развития СЭГ в России. Её решением может быть создание защищенной информационной сетевой структуры, позволяющей избирателям голосовать с использованием персонального компьютера.

Цель настоящей работы — устранение недостатка существующей СЭГ путем подготовки программной базы для системы Интернет-голосования.

Главное требование, предъявляемое к любому открытому информационному ресурсу — безопасность. Одним из основных методов ее обеспечения является шифрование информации. Используемые для этого криптографические алгоритмы часто требуют отправки запросов для подтверждения действий или проверки данных. В связи с этим в системе интернет-голосования должен поддерживаться обмен данными между голосующими и счетными комиссиями в режиме реального времени.

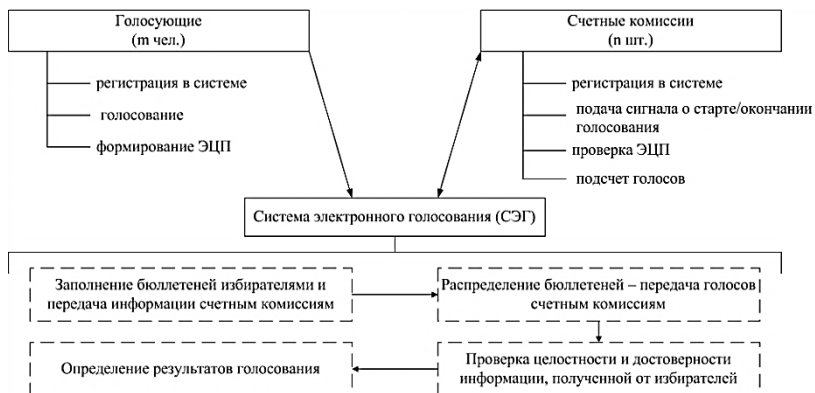
Задачей настоящей работы является разработка модели интерактивной СЭГ, наглядно отражающей этапы работы и применяемые криптографические алгоритмы.

СЭГ должна отвечать следующим требованиям [2, с. 347—348]:

- голосовать имеют право только уполномоченные избиратели;
- ни один голосующий не может проголосовать больше одного раза;
- ни один из участников не может узнать, как проголосовал кто-то другой;
- никто не может продублировать голос другого участника;
- конечный результат будет корректно подсчитан;
- каждый из участников способен проверить, что результат подсчитан правильно;
- обеспечение корректной работы протокола в случае, когда некоторые из участников не честны.

Алгоритм работы СЭГ представлен на рисунке 1.





**Рисунок 1. Алгоритм работы системы электронного голосования**

Будем предполагать, что в голосовании участвуют  $m$  лиц с правом голоса и  $n$  счетных комиссий [2, с. 347]. Избиратели могут отдать свой голос только за одного из двух кандидатов. Пусть имеется конечная Абелева группа  $A$  простого порядка  $Q$ , в которой выбрана пара элементов  $B$  и  $G$ , причем никто, включая счетные комиссии, не знает решения уравнения  $B = G^x$ , где  $x$  — выбор избирателя. Кроме того, каждый из голосующих имеет алгоритм электронной цифровой подписи (ЭЦП) с открытым ключом; в разработанной системе используется алгоритм DSA.

При разработке СЭГ были применены следующие криптографические алгоритмы:

- электронная цифровая подпись DSA;
- схема обязательств  $D_a(x)$ , рассчитываемая по формуле (1);
- протокол идентификации Шнорра;
- схема Шамира разделения секрета.

$$D_a(x) = B^x G^a \quad (1)$$

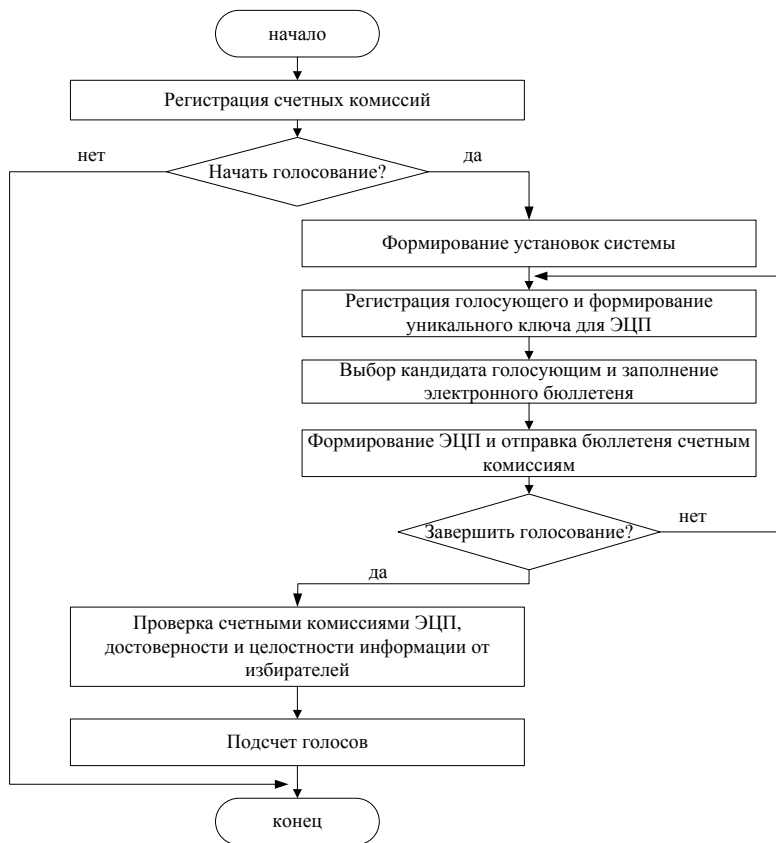
где:  $B, G$  — пара элементов конечной Абелевой группы  $A$  простого порядка  $Q$ ;

$x$  — выбор избирателя;

$a$  — затемняющая величина (случайное целое число по модулю  $Q$ ).

Для решения поставленной задачи было разработано клиент-серверное приложение в среде Delphi 7. Программа-сервер

предназначена для счетных комиссий, а программа-клиент — для голосующих. Схема алгоритма работы программы представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2. Схема алгоритма работы программы-модели СЭГ**

В начале каждого нового процесса голосования в системе регистрируются все счетные комиссии. Далее счетные комиссии подают сигнал о старте выборов. Голосующие могут приступить к голосованию только после поступления этого сигнала. Система создает файл с установками системы. Каждый избиратель регистрируется в системе под уникальным номером, система генерирует уникальный ключ для формирования ЭЦП, после чего

избиратель голосует. Голос передается счетным комиссиям в неявном виде с помощью схемы обязательств (1). Уникальный номер, ключ и выбор голосующего регистрируются в электронном бюллетене. Формируется ЭЦП избирателя.

Процесс голосования завершается по сигналу, поступившему от счетных комиссий. Счетные комиссии проверяют ЭЦП избирателя, а затем целостность и достоверность информации, полученной от него. После проверки данных от всех избирателей счетные комиссии подсчитывают голоса и выдают результаты выборов.

Таким образом, разработанная модель СЭГ отвечает перечисленным выше требованиям. Кроме того, она обладает уникальной особенностью — интерактивностью: все действия, выполняемые избирателями и счетными комиссиями, прозрачны (с условием сохранения тайны голосования). В случае несанкционированного проникновения в систему сразу поступит сообщение об этом, что позволит быстро отреагировать на ситуацию.

Разработанное приложение является моделью интерактивной системы электронного голосования. Реализация аналогичной системы на языках веб-программирования может послужить базой для создания интерактивной системы Интернет-голосования.

### **Список литературы:**

1. Государственная автоматизированная система «Выборы». М., 2009.
2. Сمارт Н. Криптография. М.: Техносфера, 2005. — 528 с.
3. Указ Президента РФ № 1723 «О разработке и создании Государственной автоматизированной системы Российской Федерации «Выбры» от 23.08.1994 г.

## **СЕКЦИЯ 3.**

### **ФИЗИКА**

#### **3.1. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

##### **ВЛИЯНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА СОРБЦИЮ ВОДОРОДА УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ**

*Гулидова Людмила Владимировна*  
*инженер Томского политехнического университета,*  
*г. Томск*  
*E-mail: [gulidova@tpu.ru](mailto:gulidova@tpu.ru)*

*Дуброва Наталья Александровна*  
*ассистент, зав. лабораторией неразрушающего контроля,*  
*Томского политехнического университета,*  
*г. Томск*  
*E-mail: [dubrova@tpu.ru](mailto:dubrova@tpu.ru)*

##### **LOW TEMPERATURE EFFECT ON HYDROGEN SORPTION BY CARBON NANOTUBES**

*Lyudmila Gulidova*  
*engineer of Tomsk Polytechnic University,*  
*Tomsk*

*Natalya Dubrova*  
*head of Nondestructive test laboratory, assistant*  
*of Tomsk Polytechnic University,*  
*Tomsk*

## АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования сорбции и десорбции водорода углеродным материалом, содержащим нанотрубки при пониженных температурах. Насыщение проводилось на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller из водородной атмосферы. Сорбционная емкость углеродного материала и остаточное количество водорода при десорбции увеличиваются с понижением температуры.

## ABSTRACT

The hydrogen sorption and desorption by carbon material with content of carbon nanotubes results of investigation are presented. The samples on automated complex Gas Reaction Controller from hydrogen atmosphere were saturated. The sorption capacity of carbon material and residual quantity of hydrogen at desorption increasing with temperature decrease.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки; водород; сорбция; десорбция.

**Keywords:** carbon nanotubes; hydrogen; sorption; desorption.

Основным вопросом альтернативной энергетики остается поиск эффективного, экологически безопасного, доступного и относительно дешевого источника энергии. Водород обладает многими свойствами необходимыми для удовлетворения энергетических потребностей человечества [1]. Но существующая инфраструктура хранения и транспортировки газа до конца не отрегулирована и требует дополнительных усовершенствований. На данный момент, ни один из существующих методов хранения водорода (под высоким давлением в баллонах, в жидком состоянии, в криогенных резервуарах, в виде металлгидридов) не является эффективным [2, с. 20].

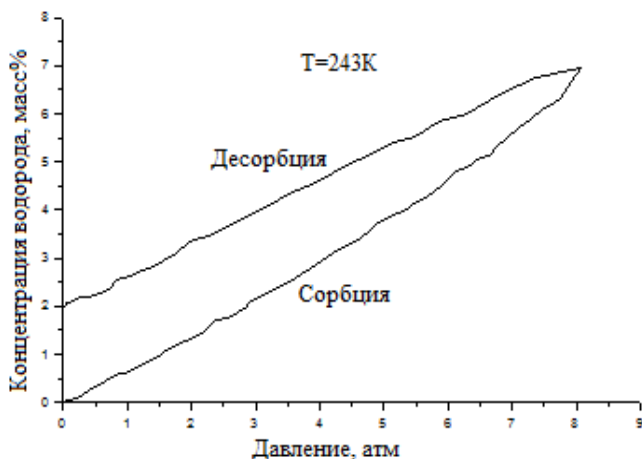
Резервуар для хранения водорода должен поглощать большое количество водорода со сравнительно небольшим объемом и легко отдавать его по мере необходимости. В качестве материала для хранения водорода рассматриваются углеродные материалы, в частности нанотрубки [1, 2].

Исследовался углеродный материал, содержащий нанотрубки, полученный методом высокотемпературного пиролиза в присутствии металлических катализаторов, после чего был очищен стандартными химическими методами до максимального содержания углеродных нанотрубок [3].

Для исследования процессов сорбции и десорбции водорода углеродными материалами, содержащими углеродные нанотрубки,

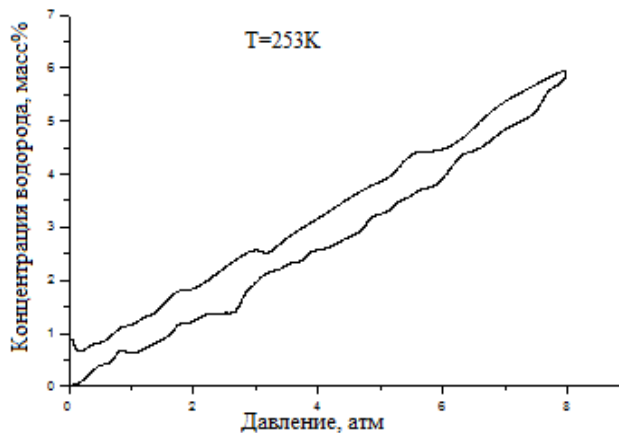
использовался режим насыщения с изменением давления при постоянной температуре на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller фирмы Advanced Material (США). Исследование сорбционных свойств материала, содержащего нанотрубки, осуществлялось в диапазоне давлений от 0 до 8 атм. и температур от  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  с шагом  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Графики зависимости концентрации водорода от давления при различных температурах представлены ниже.

Результаты измерений дают информацию о максимальном количестве поглощенного водорода при заданной температуре с увеличением давления. Также эксперимент позволяет определить влияние температуры на способность материала запастись водородом при данных условиях и проверить изменение концентрации водорода в образце при циклическом насыщении и постоянном давлении.



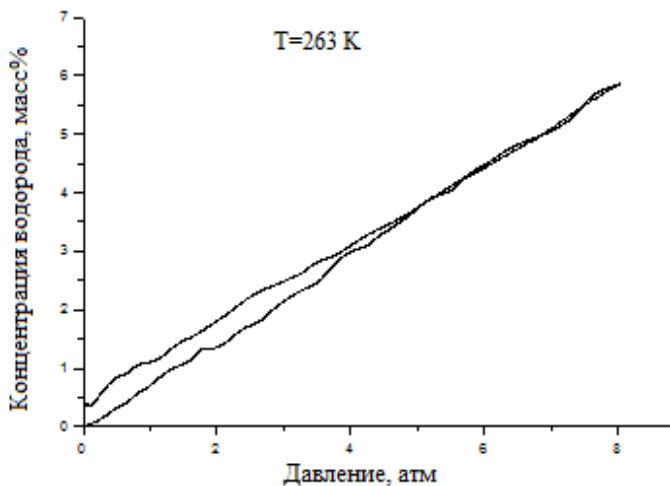
**Рисунок 1. График зависимости концентрации водорода от давления при температуре  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Из полученного графика следует, что максимальное количество сорбируемого водорода составляет 7 масс% при давлении 8 атм. Десорбция водорода из образца углеродного материала осуществлялась также при  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Как можно наблюдать, остаточная концентрация водорода составляет 2 масс%.



**Рисунок 2. График зависимости концентрации водорода от давления при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$**

При снижении температуры сорбции  $-20^{\circ}\text{C}$  происходит снижение концентрации поглощенного образцом водорода примерно на 1 масс% и составляет около 6 масс%. Также наблюдается и снижение остаточного водорода при десорбции до 1 масс%.

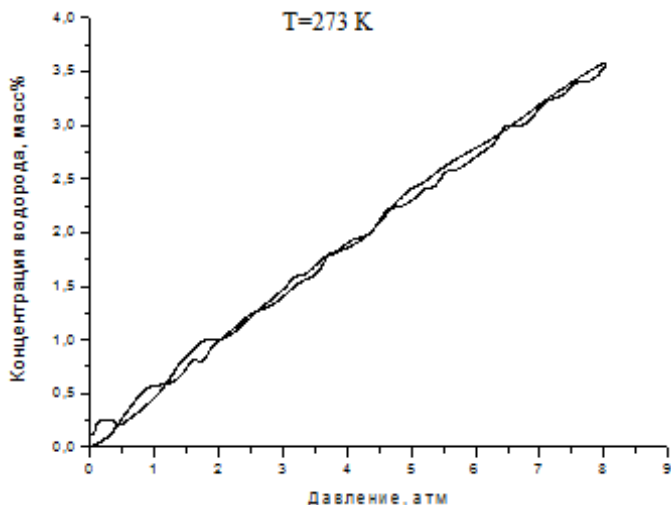


**Рисунок 3. График зависимости концентрации водорода от давления при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$**

При увеличении температуры на 20 °С среднее значение сорбционной емкости около 5 масс%, а концентрация не десорбированного из образца водорода менее 0,5 масс%.

Измерение сорбционной емкости при 0 °С дает уменьшение концентрации поглощенного водорода в 2 раза сравнительно с –30 °С и составляет около 3,5 масс%.

Сорбционная емкость материала при 10 °С составляет около 3,2 масс%. Остаточное количество водорода около 0,2 масс%.



*Рисунок 4. График зависимости концентрации водорода от давления при температуре 0 °С*

При увеличении давления в камере от 0 до 8 атм количество поглощенного водорода материалом увеличивается не зависимо от температуры процесса. Но количество водорода, поглощенного образцами при температуре минус 30 °С в 2 раза выше количества водорода, сорбированного при температуре 0 °С при 8 атм.

Предельная концентрация водорода, сорбированного углеродным материалом, полученным конверсией природного газа, достигает 7 масс% при температуре –30 °С и давлении 8 атм.

#### **Список литературы:**

1. Еремин В.В. Материалы курса «Нанохимия и нанотехнология»: лекции 5—8. М.: Педагогический университет «Первое сентября», 2009. — 96 с.



2. Тарасов Б.П., Гольдшлегер Н.Ф. Сорбция водорода углеродными наноструктурами. — Альтернативная энергетика и экология, — 2002. — № 3. — С. 20—38.
3. Жерлицын А.Г., Шиян В.П., Медведев Ю.В., Галанов С.И., Сидорова О.И. Получение углеродного наноматериала и водорода из природного газа под действием СВЧ-излучения // Известия вузов. Физика. — 2007. — № 10/3. — С. 280—284.

## **АЛМАЗНЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ СО СТРУКТУРОЙ ОПАЛА: СИНТЕЗ, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРОЕНИЕ**

***Совык Дмитрий Николаевич***

*младший научный сотрудник,  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
г. Москва  
E-mail: [sovyk@nsc.gpi.ru](mailto:sovyk@nsc.gpi.ru)*

***Ральченко Виктор Григорьевич***

*канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией,  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
г. Москва*

***Курдюков Дмитрий Александрович***

*канд. хим. наук, старший научный сотрудник,  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
г. Санкт-Петербург*

***Грудинкин Сергей Александрович***

*канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник,  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
г. Санкт-Петербург*

***Казаков Валерий Александрович***

*ведущий инженер, Федеральное государственное унитарное  
предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»,  
г. Москва*

**Савин Сергей Сергеевич**

*инженер, Институт технических средств неразрушающего контроля  
Московского государственного технического университета  
радиотехники, электроники и автоматики,  
г. Москва*

**Голубев Валерий Григорьевич**

*д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией,  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
г. Санкт-Петербург*

**Седов Вадим Станиславович**

*младший научный сотрудник,  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
г. Москва*

**PHOTONIC CRYSTALS OF DIAMOND  
WITH OPAL STRUCTURE: SYNTHESIS,  
OPTICAL PROPERTIES AND TEXTURE**

**Sovyk Dmitry**

*junior researcher,  
Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences ,  
Moscow*

**Ralchenko Victor**

*candidate of physical and mathematical sciences, head of laboratory,  
Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow*

**Kurdyukov Dmitry**

*candidate of chemical sciences, senior researcher,  
Ioffe Physical-Technical Institute,  
St. Petersburg*

**Grudinkin Sergey**

*candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher,  
Ioffe Physical-Technical Institute,  
St. Petersburg*

**Kazakov Valery**

*leading engineer,  
Federal State Unitary Enterprise «Keldysh Research Center»,  
Moscow*

**Savin Sergey**

*leading engineer,  
Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation,  
Moscow*

**Golubev Valery**

*doctor of physical and mathematical sciences, head of laboratory,  
Ioffe Physical-Technical Institute,  
St. Petersburg*

**Sedov Vadim**

*junior researcher,  
Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow*

*Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, конкурс СП-2013, и Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Физика новых материалов и структур».*

## **АННОТАЦИЯ**

Исследованы строение и оптические свойства фотонных кристаллов из алмаза со структурой опала, изготовленных методом реплики и процесса химического осаждения алмаза в СВЧ-плазме метана и водорода. Определены толщина и зернистость нанокристаллических алмазных сфер диаметром 260 нм, составляющих периодическую опаловую структуру. Установлено сложная, композитная структура сфер: внутри алмазных оболочек присутствуют наночастицы графита, которые можно удалить, однако, избирательным окислением, оставляя доминирующей алмазную фазу.

## ABSTRACT

The structure and optical properties of diamond photonic crystals with opal structure produced by template synthesis using microwave plasma CVD deposition from methane and hydrogen mixture have been studied. The thickness and granular structure of the nanocrystalline diamond spheres of 260 nm diameter, that build the periodical opal lattice, are evaluated. A complex composite structure of the diamond spheres is revealed: inside thin diamond shell graphite nanoparticles are present, which, however, can be etched by selective oxidation, leaving the diamond phase dominant.

**Ключевые слова:** фотонные кристаллы; CVD алмаз; структура опала; метод реплики; спектры отражения; спектроскопия КР.

**Keywords:** photonic crystals; CVD diamond; opal structure; template synthesis; reflection spectra; Raman spectroscopy.

## Введение

Управление светом с помощью особых упорядоченных одно-, двух- и трёхмерных структур, которые принято называть фотонными кристаллами (ФК), неизменно привлекает внимание исследователей, инженеров и является активной областью исследований в фотонике. С фотонными кристаллами связывают надежды на получение оптических квантовых компьютеров, новых низкопороговых и даже беспороговых лазеров, суперпризм, компактных волноводов с низкими потерями, суперлинз, экономичных дисплеев на фотонных кристаллах [4, с. 190]. Управление фотонами тем эффективней, чем выше разница в диэлектрической проницаемости или связанном с ней показателе преломления ( $n = \sqrt{\varepsilon}$ ) сред, границу между которыми пересекает свет. В видимой области наиболее высокий диэлектрический контраст позволяют реализовать рutil (тетрагональный диоксид титана) и алмаз. Причём окно оптической прозрачности у алмаза шире (край фундаментального поглощения алмаза — 225 нм), что перекрывает всю видимую область спектра. Трёхмерные ФК позволяют наиболее широко влиять на поведение квантов света. Среди них выделяются особо нанопористые ФК со структурой природного опала (сферы диаметром порядка нескольких сотен нанометров, упакованные в кубическую решетку), которые научились получать методом самосборки, и ФК со структурой инвертированного опала, которые позже стали синтезировать методом реплики [5, с. 6217], заполняя пустоты опала и вытравливая исходную опаловую матрицу — темплат. Такие способы отличаются низкой дефектностью фотонных кристаллов и низкой стоимостью оборудования

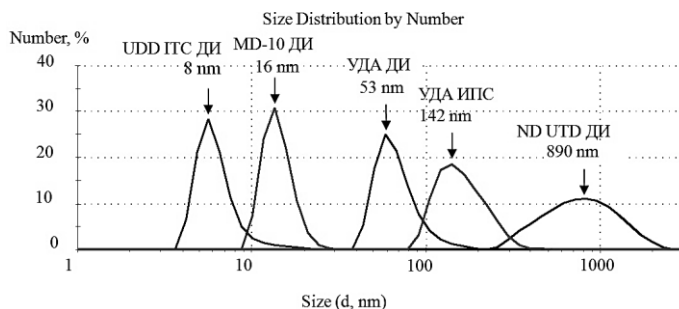
для их изготовления, в отличие от более дорогих способов с применением стандартной или электроннолучевой литографии. Однако классические материалы, из которых успешно делают ФК с опалоподобной структурой для видимого диапазона, не позволяют создать высокий диэлектрический контраст — это диоксид кремния ( $\epsilon = 2,13$ ) и различные полимерные материалы ( $\epsilon < 1,44$ ). Поэтому так привлекательно создание и изучение фотонных кристаллов из прозрачного материала с рекордно высокой диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon = 5,7$ ) — алмаза.

Попытки синтезировать алмазный опал методом самосборки неизвестны из-за термодинамической нестабильности алмаза при стандартных условиях. В конце 1990-х оказалось возможным создать методом реплики инвертированный алмазный опал [6, с. 899], заравнивая пустоты  $\text{SiO}_2$  опала CVD алмазом. Позже тем же методом двойной реплики удалось получить и алмазный опал [1, с. 1071], для чего потребовалось из  $\text{SiO}_2$  опала сначала вырастить темплат — инвертированный Si опал [3, с. 1065], который затем заполнялся алмазом из газовой фазы. Недавно были доказаны фотонно-кристаллические свойства алмазного опала [2, с. 1037], однако его строение недостаточно изучено.

### **1. Получение образцов**

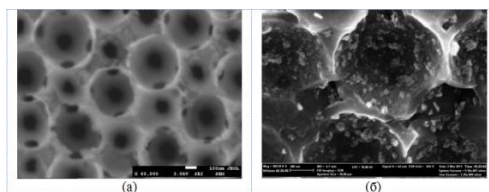
Синтез алмаза из газовой фазы (CVD алмаза) протекает в метастабильных термодинамических условиях и возможен лишь при наличии исходных центров зародышеобразования. Если ими выступают частицы алмаза размером от единиц нм до нескольких мкм, то получается поликристаллическая плёнка, а если все центры находятся на поверхности монокристалла, то образуется монокристаллическая плёнка. В данной работе в поры темплатов при помощи обработки в ультразвуковой ванне вводили получаемые детонационным синтезом (УДА, UDD) или дроблением (MD) частицы наноалмаза из водной суспензии. Выбор такого варианта засева темплатов — инвертированных Si опалов — с размером пор 40—90 нм обусловлен необходимостью заполнить поверхность сферических полостей темплата с плотностью частиц алмаза не менее  $10^{11}$  штук/ $\text{см}^2$ , причём на значительную глубину — до 400 мкм. Изучение распределений наночастиц алмаза по размерам в суспензиях (Рис. 1) от нескольких производителей в различных жидкостях — воде, спирте, ацетоне, диметилсульфоксиде — методом динамического рассеяния света на анализаторе “Malvern Zetasizer Nano” позволило выбрать наиболее высокодисперсную устойчивую к оседанию суспензию

для засева темплатов — UDD ИТС в деионизованной воде сопротивлением 2 МОм/см с размером частиц 8 нм.



**Рисунок 1. Измерение распределения по размерам суспензий наноалмаза различных производителей в деионизованной воде (ДИ) и изопропаноле (ИПС) методом динамического рассеяния света. Концентрация алмаза при измерениях во всех образцах была постоянной и равнялась 0,1 мг алмаза/мл жидкости. Все измерения проводились трижды при комнатной температуре, а затем усреднялись**

Из-за разницы в расклинивающем давлении размеры одного и того же порошка в других жидкостях были выше, чем в воде: так, порошок УДА в изопропаноле (Рис. 1) слипался в агрегаты в ~3 раза большие, чем в деионизованной воде. Введение частиц наноалмаза в поры кремниевого темплата («засев») осуществляли обработкой темплата в суспензии, помещенной в ультразвуковую ванну в течение 30 минут. На Рис. 2 показан скол Si темплата до и после засева наноалмазом, но перед наращиванием алмаза из плазмы.

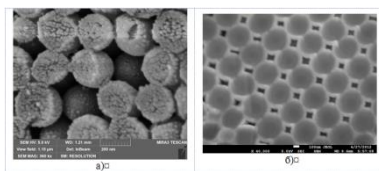


**Рисунок 2. Инвертированный Si опал с диаметром полостей 450 нм до (а) и после (б) засева наноалмазом в ультразвуковой ванне. Чёрные кружки — каналы, соединяющие сферические полости (а). Фотография (б) сделана на сколе на расстоянии 35 мкм от поверхности темплата**

Достигнутая на всей глубине высокая с плотность зародышеобразования — свыше  $10^{11}$  алмазных частиц/см<sup>2</sup> — позволила вырастить образцы алмазного опала. Осаждение алмазной пленки проводили в СВЧ плазмохимическом реакторе «УПСА-100» при температуре темплатов 800—850 °С и варьировании концентрации метана в смеси с водородом от долей процента до 4 % после зарастания пор Si темплата. Инвертированный Si опал стравливали химически в смеси кислот  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{HF} + \text{HNO}_3$ , получая его обратную реплику — алмазный опал, состоящий из полых сфер.

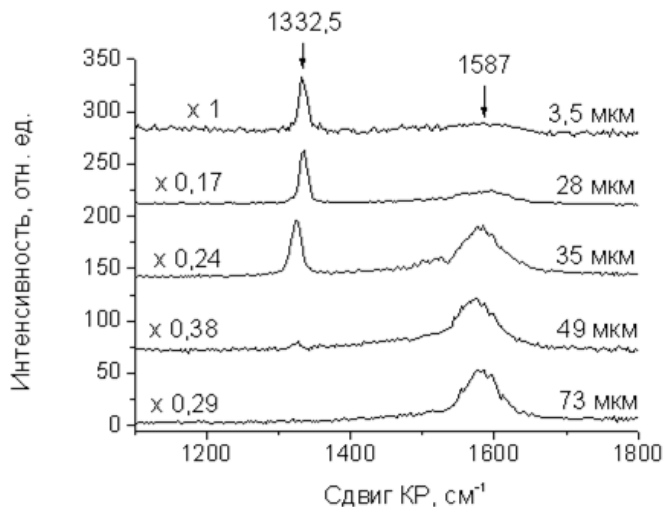
## 2. Анализ результатов

Снятые ранее на сколе алмазных опалов спектры комбинационного рассеяния света (КР) неизменно показывали [2, с. 1037] наличие графита и аморфного углерода. Это объясняется тем, что рост алмаза происходит от поверхности полостей Si темплата к их центру, на ранних стадиях процесса концентрация атомарного водорода, поступающего из плазмы, достаточно высока, чтобы селективно травить образующуюся графитоподобную фазу, и первые слои углерода имеют алмазную структуру. При этом каналы, соединяющие соседние полости между собой, уменьшаются и, в конце концов, полностью зарастают алмазом. При уменьшении размеров каналов ускоряется рекомбинация радикалов Н ( $\text{H} + \text{H} = \text{H}_2$ ) на поверхности темплата. Концентрации радикалов  $\text{CH}_x$  и атомарного водорода снижаются, что ведет к доминированию графита в продуктах синтеза на поздних стадиях. Оказалось (Рис. 3 а), что такие частицы нанографита целиком заполняют тонкостенные алмазные сферы, образуя пористую массу. Хорошо видно, что сферы шероховатые, что естественно для поликристаллического алмаза. При этом размер кристаллитов алмаза, составляющих внешние стенки сфер — 20—35 нм, — в два раза больше размера кристаллитов графита внутри них — 10—20 нм. Данная картина характерна для полученных нами алмазных опалов с разными периодами (300—450 нм).



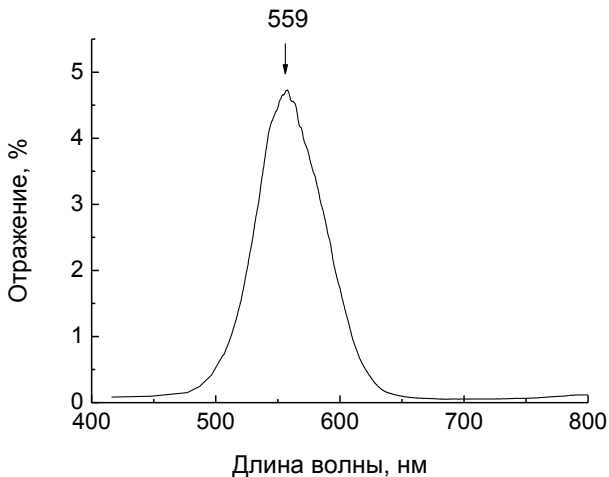
**Рисунок 3. Фотографии РЭМ, сделанные на сколе алмазного опала на глубине 20 мкм от поверхности до (а) и после (б) травления графита и аморфного углерода на воздухе при 450 °С. Окисление на воздухе эффективно удаляет графитовую фазу-наполнитель**

После травления графитоподобной фазы на воздухе (Рис. 3 б) при температуре 450 °С в течение 30 мин графитовая составляющая в центре сфер в значительной мере удаляется, а алмазные «скорлупы» остаются, поскольку их травление кислородом требует более высоких температур. Чем глубже располагается слой алмазных сфер, тем выше в нём доля графитовой фазы. Мы исследовали, как меняется фазовый состав алмазных опалов по глубине, с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света (Рис. 4) при возбуждении КР в УФ области, при длине волны 244 нм на спектрометре «Т64000» («HORIBA-Jobin Yvon») в конфокальном режиме. Размер области анализа — 1,5 мкм. Интенсивность линии алмаза на частоте 1332,5 см<sup>-1</sup>, а с ней и объёмная доля алмазной фазы, монотонно убывают от поверхности вглубь опала, а графитовая линия на 1587 см<sup>-1</sup>, наоборот, растёт. Это связано, как упоминалось ранее, с рекомбинацией атомарного водорода в глубине темплата, поскольку длина пробега радикалов Н· там падает быстрее, чем длина пробега радикалов СН<sub>3</sub>·. Вплоть до глубины 35—40 мкм в составе опала преобладает алмаз, после чего, на глубинах свыше 50 мкм, алмазная линия в спектрах УФ КР исчезает — сферы уже состоят полностью из хорошо упорядоченного графита.



**Рисунок 4. Спектры УФ КР, снятые на сколе алмазного опала на разных глубинах (расстоянии от поверхности), указанных в микрометрах у каждого спектра**





**Рисунок 5. Спектры оптического отражения алмазного опала от плоскости ФК (111), снятые при угле падения лучей  $\theta = 11^\circ$**

Спектр оптического отражения неполяризованного излучения (Рис. 5) от плоскости (111) алмазного опала был измерен на спектрометре «Ocean Optics USB4000», позволяющем фокусироваться в точку размером несколько мкм. На Рис. 5 четко выражен брэгговский пик на длине волны 559 нм, связанный с параметрами оптической решетки формулой:

$$m \cdot \lambda_{\max(111)} = 2d_{111} \cdot \sqrt{\varepsilon_{eff} - \sin^2\theta} \quad (1),$$

где:  $\lambda_{\max(111)}$  — спектральное положение максимума пика брэгговского отражения при падении света на плоскость (111) опала,

$m$  — порядок отражения (номер плоскости (111) опала, считая от поверхности),

$d_{111}$  — период структуры (расстояние между центрами сфер опала, формирующих соседние плоскости (111)),  $d_{(111)} = \sqrt{2/3} \cdot D$ , где диаметр сферы  $D = 260$  нм;  $\varepsilon_{eff}$  — эффективная диэлектрическая проницаемость опала,  $\theta$  — угол падения света на плоскость (111) (при падении по нормали  $\theta = 0^\circ$ ).

Для опала из полых соприкасающихся сфер с толщиной стенки  $\Delta l$  можно записать:

$$\varepsilon_{eff} = f_0 \cdot (\varepsilon_{diamond} \cdot \frac{D^3 - (D - 2 \cdot \Delta l)^3}{D^3} + \varepsilon_{air} \cdot \frac{(D - 2 \cdot \Delta l)^3}{D^3}) + \varepsilon_{air} \cdot (1 - f_0) \quad (2),$$

где:  $\varepsilon_{air} = 1$  — диэлектрическая проницаемость воздуха,

$f_0$  — коэффициент заполнения сферами объёма опала, для неискажённой кубической гранецентрированной решётки  $f_0 = 0,74$ ,  $(1 - f_0)$  — объёмная доля воздуха между сферами для неискажённой кубической гранецентрированной структуры.

Заметим, что в случае отражения от сплошных сфер алмазного опала следовало ожидать пик отражения в существенно более длинноволновой области  $\lambda_{max} = 967$  нм при  $\theta = 11^\circ$ . Таким образом, именно тонкостенность сфер обеспечивает реализацию брэгговского максимума в видимой области.

### Выводы

Осаждением алмаза из СВЧ плазмы в порах темплата на основе инвертированного кремниевого опала методом получены фотонные кристаллы — опалы толщиной 30—35 мкм, состоящие из полых поликристаллических алмазных сфер диаметром 260 нм. Сферы сложены из зёрен размером 20—30 нм и внутри заполнены наночастицами графита размером до 20 нм. Опаловая алмазная структура продемонстрировала максимум брэгговского отражения в видимой области спектра ( $\lambda_{max} = 559$  нм).

Авторы благодарят О. Шендерову за предоставление ультрадисперсного алмазного порошка, А.А. Руденко за фотографии на растровом электронном микроскопе, И.И. Власова за обсуждение спектров КР.

### Список литературы:

1. Ральченко В.Г., Сovyк Д.Н., Большаков А.П., Хомич А.А., Власов И.И., Курдюков Д.А., Голубев В.Г., Захидов А.А. Получение прямых и инвертированных опаловых матриц из алмаза методом осаждения из газовой фазы // Физика твёрдого тела. — 2011. — Том 53, — № 6, — с. 1069—1071.
2. Сovyк Д.Н., Ральченко В.Г., Курдюков Д.А., Грудинкин С.А., Голубев В.Г., Хомич А.А., Конов В.И. Фотонные кристаллы из алмазных сфер со структурой опала // Физика твёрдого тела. — 2013. — Том 55, — № 5, — с. 1035—1038.

3. Golubev V.G., Hutchison J.L., Kosobukin V.A., Kurdyukov D.A., Medvedev A.V., Pevtsov A.B., Sloan J., Sorokin L.M. Three-Dimensional Ordered Silicon-Based Nanostructures in Opal Matrix: Preparation and Photonic properties // *Journal of Non-Crystalline Solids*. — 2002. — Vol. 299, — pp. 1062—1069.
4. Joannopoulos J.D., Johnson S.G., Winn J.N., Meade R.D. *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 2008. — 285 p.
5. Marlow F., Muldarisnur, Sharifi P., Brinkmann R., Mendive C. Opal: Status and Prospects // *Angewandte Chemie*. — 2009. — Vol. 48, — pp. 6212—6233.
6. Zakhidov A.A., Baughman R.H., Iqbal Z., Cui C., Khayrullin I., Dantas S.O., Marti J., Ralchenko V.G. Carbon structures with Three-Dimensional Periodicity at Optical Wavelengths // *Science*. — 1998. — Vol. 282, — pp. 897—901.

## 3.2. ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

### УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

**Цветкова Елена Вячеславовна**

*ст. препод. кафедры общей физики ОГУ,  
г. Оренбург*

**Цветков Александр Викторович**

*зав. лаб. кафедры общей физики ОГУ,  
г. Оренбург*

**Сычева Екатерина Владимировна**

*ст. препод. кафедры общей физики ОГУ,  
г. Оренбург*

*E-mail: [e.v.tsvetkova@mail.ru](mailto:e.v.tsvetkova@mail.ru)*

### IMPROVING ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF AUTOMOBILE FUELS BY MEANS OF PHYSICAL ACTIVATION AND MAGNETISM

**Elena Tsvetkova**

*head teacher of General Physics Chair, Orenburg State University,  
Orenburg*

**Aleksander Tsvetkov**

*laboratory chief of General Physics Chair, Orenburg State University,  
Orenburg*

**Ekaterina Sycheva**

*yead teacher of General Physics Chair, Orenburg State University,  
Orenburg*

## АННОТАЦИЯ

В результате теоретического анализа и стендовых испытаний подтверждена гипотеза о положительном влиянии физической активации топлива на экологические свойства автомобильных двигателей. Выявлено, что при использовании магнитного активатора происходит заметное снижение содержания в выхлопных газах углекислого газа и соединений углеводородов.

### ABSTRACT

As a result of desktop analysis and bench tests there has been proved a hypothesis about positive influence of fuel physical activation on ecological properties of automobile engines. It is identified that when using magnetic activator there appears to be noticeable decrease of carbon dioxide content and hydrocarbon compounds of exhaust emissions.

**Ключевые слова:** физическая активация; автомобильное топливо; электромагнитное поле; магнитный активатор топлива.

**Keywords:** physical activation; automobile fuel; electromagnetic field; magnetic fuel activator.

В настоящее время решение проблемы экологической безопасности и снижения вредных выбросов с отработавшими газами является одним из приоритетных направлений в Российской Федерации, что обуславливает значительное количество теоретических и прикладных решений, среди которых привлекает внимание физическая активация топлива.

На сегодняшний день многими зарубежными и отечественными фирмами предлагаются к применению различные устройства активации топлива. В основу всех устройств положены изменения, которые происходят в жидкости при ее движении в магнитном поле. Однако, несмотря на кажущуюся простоту и доступность методов физической активации, в эксплуатации автомобилей далеко не всегда удается получить желаемый положительный эффект. В связи с этим исследования, направленные на разработку новых методов физической активации топлива с целью улучшения экологических показателей автотранспортных средств, до сих пор являются актуальными.

Еще в конце 20 века появились работы, в которых авторы (Головин В.В., Звонов В.А. и др.) [1], [2] успешно использовали эффект физического омагничивания топлива в двигателях внутреннего сгорания автомобилей, для уменьшения токсичности отработавших газов.

Влияние физической активации топлива на экологические показатели автомобильных двигателей исследователи связывают с улучшением условий смесеобразования и более полного сгорания в цилиндрах, вследствие изменения таких свойств топлива как: вязкость, коэффициент поверхностного натяжения и скорость испарения топливной смеси.

Существующие методы физической активации основаны на принципе пропускания жидкости в магнитном поле таким образом, чтобы угол между векторами скорости и вектором магнитной индукции был отличен от нуля. При прочих равных условиях величина эффекта омагничивания при физической активации максимальна при углах около 90 градусов.

Общеизвестно, что чем труднее поддается аппарат расчету, тем большее число конструкций он имеет. В наше время имеется свыше ста вариантов устройств для магнитной обработки жидкостей, что затрудняет их классификацию и сопоставление. Главным недостатком этих аппаратов является достаточно сложная настройка их рабочих режимов. Отсюда сильная зависимость эффективности физической активации от изменения рабочих режимов магистрали, на которой он установлен, в частности, от скорости протекания жидкости в рабочих зазорах омагничивающих аппаратов. Это делает практически невозможным их эффективную работу на магистралях, где поток обрабатываемой жидкости не стационарен во времени.

В.А. Помазкиным разработаны и запатентованы «Аппарат Помазкина» для магнитной обработки воды» [3] и «Экспресс-анализ физической активации жидкостей» [4], в основу которых положен феномен изменения вязкостно-коагуляционных свойств жидкостей, прошедших обработку магнитным полем или подвергнутых другой физической активации. Разработанный способ позволяет не только обнаружить феномен изменения свойств жидкости, вызванных её магнитной обработкой, но и дает возможность количественной оценки глубины этих изменений, т.е. позволяет сформировать обоснованное заключение о характере скрытых процессов магнитной активации. «Диапазон контроля степени омагниченности различных по химическому составу сред у способа [4] гораздо шире, чем у известных аналогичных способов, и его можно использовать для индикации физической активации спиртов, масел, топлив, органических растворителей и других жидких сред» [5, с. 210].

С целью улучшения экологических показателей автомобильных двигателей был разработан и запатентован магнитный активатор жидких сред [6], применяемый и для топлива в частности. Авторами

была предложена конструкция эффективного, автономного аппарата, не требующего внешних источников питания и контроля рабочих режимов, легко устанавливаемого на рабочих магистралях, приводящего к снижению вредных выбросов и обеспечивающего экологическую чистоту окружающей среды.

Принципиальное отличие активатора от предыдущих аналогов заключается в том, что физическая активация, т. е. омагничивание происходит не в ограниченных рабочих зазорах, а на всем пути следования жидкости, т. к. его конструкция предусматривает зигзагообразное движение топлива внутри активатора; при этом пересечение магнитных силовых линий происходит под углом, близким к  $90^\circ$ , что является предпосылкой достижения максимального эффекта физической обработки. Длина пути следования жидкости в зависимости от количества магнитных дисков активатора становится в 5—7 раз больше продольного размера самого активатора, поскольку жидкость перемещается зигзагообразно по отношению к оси активатора, а не вдоль нее. Это позволяет существенно увеличить время экспозиции обрабатываемой жидкости в магнитном поле и максимально повысить эффект ее магнитной активации.

Технический результат от использования устройства заключается в повышении эффективности физической активации топлива, возможности контроля и регулировки рабочих режимов магнитного активатора, упрощение конструкции, обеспечение автономности устройства за счет отсутствия внешних источников питания.

В процессе проведения экспериментальных исследований магнитного активатора был осуществлен замер токсичности двигателя ВАЗ-2106. Содержание токсичных компонентов СО и СН в отработавших газах определялось при работе двигателя на холостом ходу для двух частот вращения коленчатого вала: минимальной  $n_{\min} = 850\text{—}900 \text{ мин}^{-1}$  и повышенной  $n_{\text{пов}} = 3000 \text{ мин}^{-1}$ . Топливо — бензин «Лукойл» АИ-92 (ГОСТ Р 51105-97) из одной партии.

Испытания проводились на различных режимах работы двигателя с постепенным открытием дроссельной заслонки и постепенным изменением внешней нагрузки. «По результатам проведенных испытаний выявлено, что при физической обработке топлива с использованием магнитного активатора содержание углекислого газа в выхлопных газах снизилось на 14,4 %, а соединений углеводородов — на 22,6 %» [7, с. 31].

**Таблица 1.**

**Результаты сравнительных испытаний двигателя по содержанию токсичных компонентов в отработавших газах**

Токсичный компонент	Значения показателя при разной частоте вращения вала					
	$n_{\min} = 850 \dots 900 \text{ мин}^{-1}$			$n_{\text{пов}} = 3000 \text{ мин}^{-1}$		
	Штатное	Магнитный активатор	Относит. изменение, %	Штатное	Магнитный активатор	Относит. изменение, %
CO, %	0,85	0,73	-14,1	1,16	0,99	-14,6
CH, ppm	985	763	-22,5	445	345	-22,7

Улучшение экологических характеристик автомобильного двигателя можно объяснить тем, что топливо, проходя через камеру активатора, становится более мелкодисперсным, в результате чего процесс сгорания топлива происходит более полно и быстрее. Для дополнительного повышения физической обработки, в камере активатора находится устройство, создающее электромагнитное поле, пульсирующее с высокой частотой, что активирует процессы собственных колебаний на молекулярном уровне, вследствие чего снижается скорость образования нагара и уменьшение вредных примесей в выхлопных газах.

Использование физической обработки топлива, популярность и прикладное значение которой существенно возросли в последние годы, являет собой комплексный подход к улучшению эксплуатационных показателей ДВС транспортных средств, в том числе их защиты от некачественного топлива и снижению вредных выбросов в окружающую среду.

**Список литературы:**

1. Головин В.В. Устройство для магнитной обработки топливно-воздушной смеси [Текст] / В.В. Головин. А. с. СССР № 1477929 ГО2М27/00, 1987.
2. Звонов В.А. и др. Устройство для обработки топливно-воздушной смеси в карбюраторном двигателе внутреннего сгорания [Текст] / В.А. Звонов. А.с. СССР № 1121476 ГО2М27/04, 1983.
3. Помазкин В.А. Аппарат Помазкина для магнитной обработки воды [Текст] / В.А. Помазкин. Патент РФ № 2096339, 1997.



4. Помазкин В.А. Экспресс-анализ физической активации жидкостей [Текст]. / В.А. Помазкин. Патент РФ № 2096759, 1997.
5. Цветкова Е.В. Магнитная обработка топлива — как способ улучшения эксплуатационных показателей автомобильных двигателей [Текст] / Е.В. Цветкова, В.А. Помазкин, К.В. Щурин, А.Н. Гулин. // Сборник материалов международной научной конференции «Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации», часть 6. Оренбург, 2010. — С. 208—212.
6. Помазкин В.А. Магнитный активатор жидких сред [Текст] / В.А. Помазкин, К.В. Щурин, Е.В. Цветкова. Патент РФ на изобретение № 2411190, 2011.
7. Щурин К.В. Использование магнитного активатора топлива для улучшения энергетических и экологических показателей ДВС. [Текст] / К.В. Щурин, Е.В. Цветкова. // М.: Грузовик. — 2011. — № 9. — С. 27—32.

**ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМУМА  
ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ  
ОТ РАССТОЯНИЯ ДО ЦЕНТРА  
НЕКРУГОВЫХ СИММЕТРИЧНЫХ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ**

***Черепанов Артём Алексеевич***

*аспирант кафедры прикладной физики, ПНИПУ,  
г. Пермь*

*Email: [archerepanov@gmail.com](mailto:archerepanov@gmail.com)*

***Кротов Лев Николаевич***

*д-р физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой прикладной физики ПНИПУ,  
г. Пермь*

*Email: [levkrotov@yandex.ru](mailto:levkrotov@yandex.ru)*

# DEPENDENCY OF TANGENTIAL CONSTITUENT'S MAXIMUM OF MAGNETIC FIELD DISPERSION FROM THE DISTANCE TO THE CENTRE OF NON-CIRCULAR SYMMETRIC CYLINDRICAL DEFECTS

*Artem Cherepanov*

*postgraduate student of the Department of Applied Physics,  
Perm National Research Polytechnic University,  
Perm*

*Lev Krotov*

*doctor of Physics and Mathematics,  
Head of the Department of Applied Physics, associate professor  
of Perm National Research Polytechnic University,  
Perm*

## АННОТАЦИЯ

В статье раскрываются проблемы определения глубины внутренних дефектов различных форм на основе аналитического решения прямой задачи магнитостатики. Методом вычислительного эксперимента исследована зависимость максимума тангенциальной составляющей магнитного поля рассеяния от расстояния до центра некруговых симметричных цилиндрических дефектов. Проведен анализ влияния размеров и геометрии дефектов на данную зависимость.

## ABSTRACT

The article reveals the problems of detection of depth of inner defects of various shapes on the basis of analytical solution of primary problem of magnetostatics. Dependency of tangential constituent's maximum of magnetic field dispersion from the distance to the centre of non-circular symmetric cylindrical defects has been studied by applying the method of calculating experiment. The analysis of an influence of sizes and geometry of the defects on the given dependency has been undertaken.

**Ключевые слова:** магнитостатика; дефект; ферромагнетик; вычислительный эксперимент.

**Keywords:** magnetostatics; defect; ferromagnetic; calculating experiment.

Постановка прямой задачи магнитостатики для кругового цилиндрического дефекта на бесконечной ферромагнитной плоскости, геометрически представленная на рисунке 1, рассматривалась многими авторами. Применительно к проблеме магнитных методов неразрушающего контроля эта постановка прямой задачи магнитостатики и аналитическое решение её в приближении линейности магнитных свойств ферромагнетика приведены в работе Щербинина В.Е. и Горкунова Э.С. [1].

Для тангенциальной и нормальной составляющих магнитного поля кругового цилиндрического дефекта в [1] получены соотношения

$$H_x = H_0 + H_0 * R^2 * \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} * \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2} \quad (1)$$

$$H_y = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} * R^2 * \frac{2xy}{(x^2 + y^2)^2} * H_0 \quad (2)$$

Здесь  $H_0$  — намагничивающее поле,  $R$  — радиус дефекта,  $\mu_1, \mu_2$  — магнитные проницаемости ферромагнетика и среды внутри дефекта,  $x, y$  — координаты точки, в которой рассчитываются величины  $H_x, H_y$ .

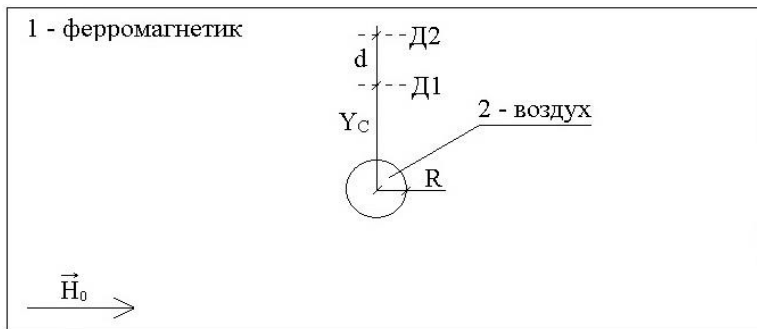
Из (1) и (2) следует, что поле цилиндрического дефекта в среде  $\mu = const$  и однородном намагничивающем поле  $H_0$  по своей структуре совпадает с полем дипольной нити, расположенной в центре дефекта и имеющей дипольный момент

$$m = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} * H_0 * R^2 \quad (3)$$

Тангенциальная составляющая  $H_x$  при  $X=0$  имеет максимум, для которого справедливо соотношение

$$H_{xmax}(Y_c) = H_0 + H_0 * R^2 * \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1 + \mu_2} * \frac{1}{Y_c^2} \quad (4)$$

Здесь  $Y_c$  — расстояние от центра дефекта до точки регистрации магнитного поля.



**Рисунок 1. Геометрия задачи магнитостатики с круговым дефектом**

Введем в рассмотрение тангенциальную составляющую магнитного поля рассеяния от дефекта, нормированную на величину намагничивающего поля –  $h_{xmax}$ . В точках  $X=0, Y_C$  и  $X=0, Y_C + d$  для максимумов тангенциальной составляющей в соответствии с (4) получим

$$h_{xmax}(Y_C) = \frac{H_{xmax}(Y_C) - H_0}{H_0} = \frac{m}{H_0 \cdot Y_C^2} \quad (5)$$

$$h_{xmax}(Y_C + d) = \frac{H_{xmax}(Y_C + d) - H_0}{H_0} = \frac{m}{H_0 \cdot (Y_C + d)^2} \quad (6)$$

Из отношения полей следует

$$\frac{h_{xmax}(Y_C)}{h_{xmax}(Y_C + d)} = \frac{(Y_C + d)^2}{Y_C^2} \quad (7)$$

или

$$\left( \frac{h_{xmax}(Y_C)}{h_{xmax}(Y_C + d)} \right)^{0,5} = \frac{(Y_C + d)}{Y_C} = 1 + \frac{d}{Y_C} \quad (8)$$

Координата центра дефекта —  $Y_C$  из соотношения (8) может быть найдена по формуле

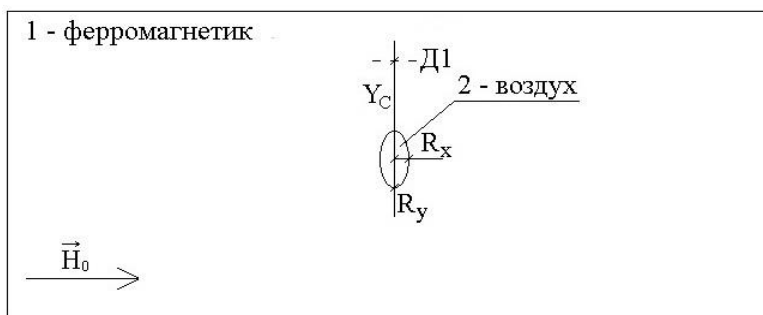
$$Y_C = \frac{d}{\left( \frac{h_{xmax}(Y_C)}{h_{xmax}(Y_C + d)} \right)^{0,5} - 1} \quad (9)$$

По формуле (9) можно по двум измерениям магнитного поля рассеяния определить искомое расстояние от ближнего датчика магнитного поля до центра кругового цилиндрического дефекта в безграничной (или очень большой) ферромагнитной области.

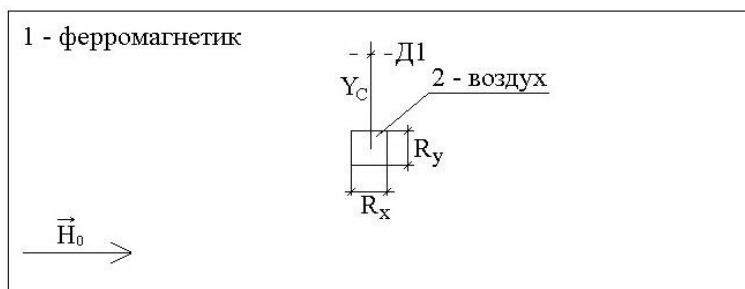
Формула (9) также применима для определения расстояния до центра некруговых симметричных цилиндрических дефектов, однако точность получаемых при этом результатов во многом зависит от того, как соотношение (5) выполняется для таких дефектов.

Для исследования зависимости  $h_{xmax}(Y_C)$  для некруговых симметричных цилиндрических дефектов проведён вычислительный эксперимент, реализованный на базе пакета прикладных программ МАТЛАБ версии 7.12.0.635.

Рассмотрены дефекты в форме эллипса и прямоугольника, геометрия задач представлена на рисунке 2 и рисунке 3, соответственно.



**Рисунок 2. Геометрия задачи магнитостатики с дефектом в форме эллипса**



**Рисунок 3. Геометрия задачи магнитостатики с дефектом в форме прямоугольника**

Для дефектов различных размеров произведён расчёт максимума тангенциальной составляющей магнитного поля рассеяния  $h_{\text{лmax}}$  на различных расстояниях  $Y_c$  до центра дефекта. Полученные результаты приведены в таблице 1 и таблице 2 для дефектов в форме эллипса и прямоугольника, соответственно. Графически полученные результаты представлены на рисунке 4 и рисунке 5, соответственно.

**Таблица 1.**

**Результаты вычислительного эксперимента для дефекта  
в форме эллипса**

Rx	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1	0,1
Ry	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Yc	$h_{\text{лmax1}}$	$h_{\text{лmax2}}$	$h_{\text{лmax3}}$	$h_{\text{лmax4}}$	$h_{\text{лmax5}}$	$h_{\text{лmax6}}$	$h_{\text{лmax7}}$	$h_{\text{лmax8}}$
1	9,65	14,16	18,21	21,65	24,46	26,67	29,61	61,68
1,25	6,07	8,97	11,67	14,11	16,24	18,04	18,47	37,80
1,5	4,12	6,12	8,01	9,78	11,38	12,81	12,47	25,33
1,75	2,95	4,39	5,77	7,08	8,31	9,42	8,90	18,06
2	2,19	3,26	4,31	5,31	6,25	7,13	6,60	13,31
2,25	1,67	2,50	3,30	4,07	4,82	5,51	5,05	10,14
2,5	1,31	1,95	2,58	3,21	3,78	4,34	3,92	7,89

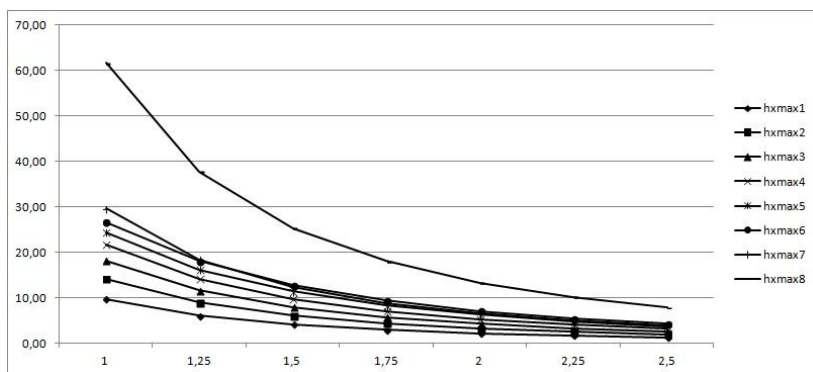
**Таблица 2.**

**Результаты вычислительного эксперимента для дефекта  
в форме прямоугольника**

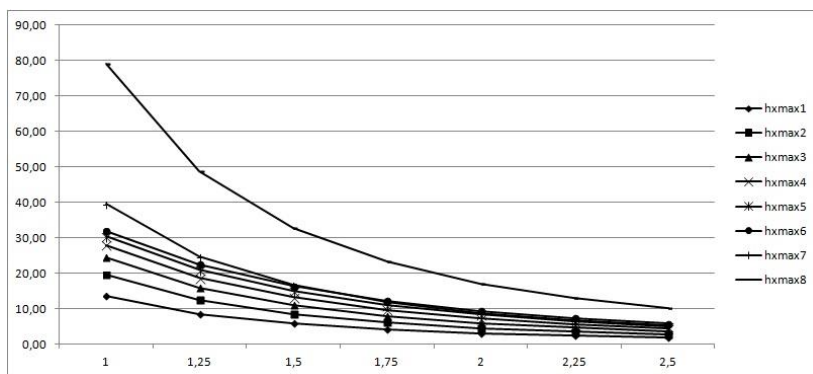
Rx	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	0,2	0,2
Ry	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6
Yc	$h_{\text{лmax1}}$	$h_{\text{лmax2}}$	$h_{\text{лmax3}}$	$h_{\text{лmax4}}$	$h_{\text{лmax5}}$	$h_{\text{лmax6}}$	$h_{\text{лmax7}}$	$h_{\text{лmax8}}$
1	13,49	19,58	24,39	27,96	30,37	31,89	39,62	79,22
1,25	8,50	12,52	15,93	18,73	20,91	22,55	24,65	48,73
1,5	5,78	8,58	11,05	13,18	14,98	16,43	16,68	32,70
1,75	4,15	6,17	8,00	9,65	11,13	12,30	11,91	23,35
2	3,08	4,60	6,00	7,27	8,44	9,42	8,84	17,17
2,25	2,35	3,53	4,61	5,61	6,52	7,36	6,74	13,09
2,5	1,84	2,76	3,61	4,43	5,13	5,81	5,26	10,19

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что соотношение (5), полученное для кругового цилиндрического дефекта, не выполняется для дефектов в форме эллипса и прямоугольника, что может являться причиной возникновения

погрешностей при использовании математической модели (9) для определения расстояния до центра таких дефектов.



*Рисунок 4. Результаты вычислительного эксперимента для дефекта в форме эллипса*



*Рисунок 5. Результаты вычислительного эксперимента для дефекта в форме прямоугольника*

Для повышения точности математической модели необходимо найти подходы к решению обратной задачи магнитостатики, учитывающие форму и размеры дефекта.

### Список литературы:

1. Щербинин В.Е. Горкунов Э.С. Магнитный контроль качества металлов. Екатеринбург: УрО РАН, 1996.

### 3.3. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

#### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРЭЭ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА ПУЧКОВОГО ТИПА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С САМОСОГЛАСОВАНИЕМ

***Борисов Алексей Владимирович***

*канд. физ.-мат. наук, доцент национального исследовательский  
Томского государственного университета,  
г. Томск*

*E-mail: [borisov@phys.tsu.ru](mailto:borisov@phys.tsu.ru)*

***Демкин Владимир Петрович***

*д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой общей и экспериментальной физики,  
профессор национального исследовательский  
Томского государственного университета,  
г. Томск*

***Мельничук Сергей Васильевич***

*канд. физ.-мат. наук, доцент национального исследовательский  
Томского государственного университета,  
г. Томск*

***Заседатель Вячеслав Сергеевич***

*старший преподаватель национального исследовательский  
Томского государственного университета,  
г. Томск*



**NUMERICAL SIMULATION OF EEDF  
OF HIGH-VOLTAGE IMPULSING ATOMIC BEAM  
DISCHARGE BY MONTE CARLO METHOD  
WITH SELF-CONSISTENCY**

***Aleksey Borisov***

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of National Research Tomsk State University,  
Tomsk*

***Vladimir Demkin***

*doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Chair  
of General and Experimental Physics, professor of National Research  
Tomsk State University,  
Tomsk*

***Sergey Melnichuk***

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of National Research Tomsk State University,  
Tomsk*

***Vyacheslav Zasedatel***

*head teacher of National Research Tomsk State University,  
Tomsk*

**АННОТАЦИЯ**

В данной работе проведено численное моделирование функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) высоковольтного импульсного разряда пучкового типа методом Монте-Карло. Найдены функции распределения электронов в межэлектродном зазоре с электрическим полем и в факеле плазмы в приближении нулевого электрического поля. Расчет ФРЭЭ в факеле плазмы проведен с использованием процедуры самосогласования. Данная процедура позволяет корректно рассчитать ФРЭЭ во всем диапазоне энергий.

**АННОТАЦИЯ**

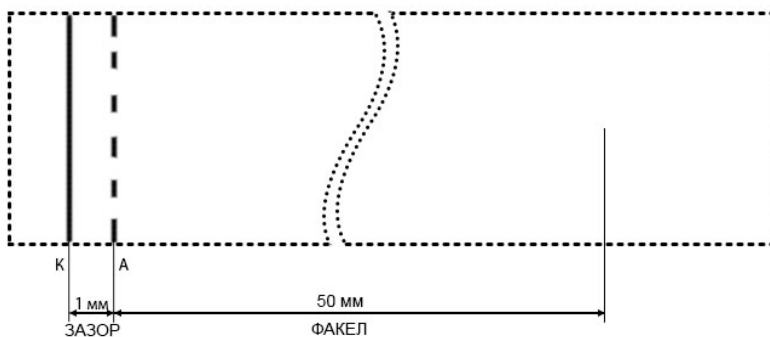
In this research there is conducted a numerical simulation of electron energy distribution function (EEDF) of high-voltage impulsing atomic beam discharge by Monte Carlo method. There are found electron distribution functions in interelectrode gap with an electric field and in plasma flame in a zero electric field. EEDF computation in plasma flame is performed with

a use of self-consistency. This procedure allows correctly computing EEDF in full range of energies.

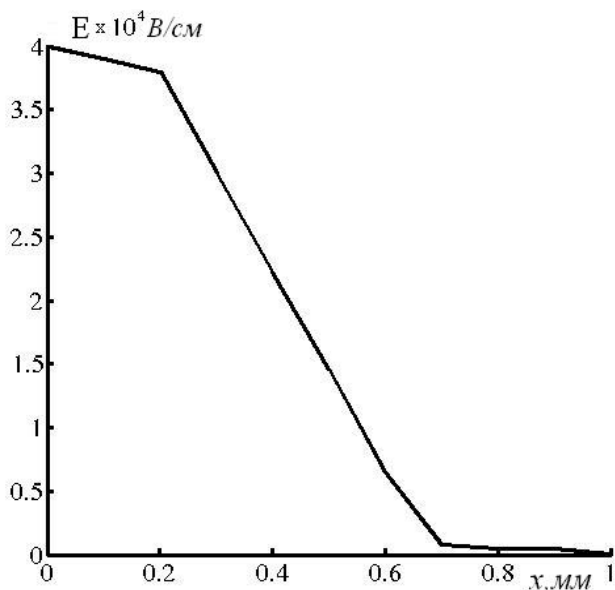
**Ключевые слова:** ФРЭЭ; метод Монте-Карло;  $He - N_2$  плазма; самосогласование.

**Keywords:** EEDF; Monte Carlo method;  $He - N_2$  plasma; self-consistency.

В данной работе проведено численное моделирование ФРЭЭ высоковольтного импульсного разряда пучкового типа методом Монте-Карло, описанным в работах [4—5]. Вычислительная модель построена для описания поведения электронов в межэлектродном зазоре длиной 1 мм и в факеле плазмы в приближении нулевого электрического поля с параметрами разряда, взятыми из работы [6]. Геометрия разряда представлена на рис. 1. В качестве примера, вид электрического поля соответствующий максимуму тока разряда в зависимости от расстояния до катода показан на рис. 2. Разряд считается квазистационарным. Численное моделирование проводилось для  $He : N_2$  смеси газов с давлениями 9 и 0,5 Торр соответственно.



**Рисунок 1.** Схема газоразрядного источника



**Рисунок 2. Зависимость напряженности электрического поля от расстояния до катода**

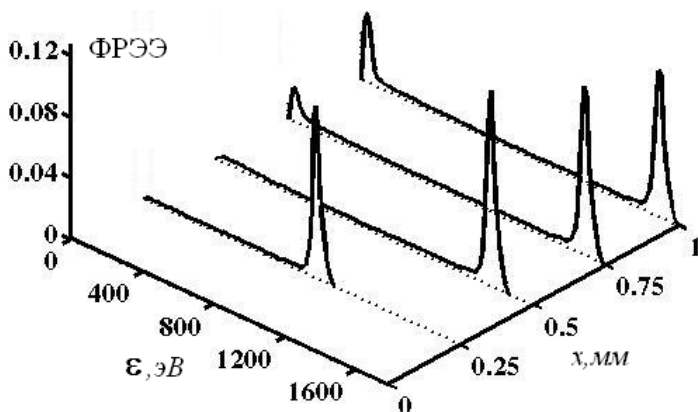
В межэлектродном зазоре с большим по величине значением ускоряющего электрического поля существенное влияние на ФРЭ оказывают реакции ионизации, возбуждения и упругого удара. Численное моделирование проводится с использованием обычной схемы, описанной в работе [5]. Реакции ионизации, возбуждения и упругого удара для  $He$  использовались такие же, как в [4], а их сечения взяты из работы [4]. Для  $N_2$  учитывались следующие реакции:

Таблица 1.

	Упругий удар	Источник
1	$e + N_2 \rightarrow e + N_2$	[7]
	<b>Ионизация и диссоциация</b>	
2	$e + N_2(G) \rightarrow 2 \cdot e + N_2^+(G)$	[7]
3	$e + N_2(G) \rightarrow 2 \cdot e + N^+ + N$	[7]
4	$e + N_2(G) \rightarrow 3 \cdot e + N^+ + N^+$	[7]
	<b>Возбуждение первых четырех колебательных уровней из основного состояния, реакции возбуждения электронного состояния и диссоциация</b>	
5	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(G, \nu = 1 \div 4)$	[7]
6	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(A^3 \Sigma_u^+)$	[7]
7	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(B^3 \Pi_g)$	[7]
8	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(W^3 \Delta_u)$	[7]
9	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(B'^3 \Sigma_u^-)$	[7]
10	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(a^1 \Sigma_u^-)$	[7]
11	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(a^1 \Pi_g)$	[7]
12	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(w^1 \Delta_u)$	[7]
13	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(b^1 \Pi_u)$	[7]
14	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(b^1 \Sigma_u^+)$	[7]
15	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(c^1 \Pi_u)$	[7]
16	$e + N_2(G) \rightarrow e + N_2^*(C^3 \Pi_u)$	[7]
17	$e + N_2(G) \rightarrow e + N + N$	[7]

Реакции, выделенные в таблице 1 в отдельные блоки, включены в схему расчета одинаковым образом.

На рис. 3 показана функция распределения электронов по энергиям в межэлектродном зазоре для  $He-N_2$  плазмы в зависимости от расстояния до катода для момента времени соответствующего электрическому полю представленному на рис. 2.



**Рисунок 3. Функция распределения электронов по энергиям в межэлектродном зазоре  $He-N_2$  плазмы**

Из рис. 3 видно, что в межэлектродном зазоре функция распределения электронов имеет два выделенных пика, соответствующих быстрым и медленным электронам, между которыми она принимает практически постоянное значение. Расположение второго пика по оси энергий и его полуширина характеризуют пучок «убегающих» электронов пролетающий сквозь анод в факел плазмы.

В факеле плазмы в приближении нулевого электрического поля данная схема недостаточна, так как помимо реакций ионизации, возбуждения и упругого удара необходимо учитывать реакции электрон-ионной рекомбинации, электрон-электронных и электрон-ионных столкновений, учет которых зависит от концентрации  $He^+$ ,

$N_2^+$ , а также от искомой функции распределения электронов. Это обусловлено тем, что в факеле количество медленных электронов достаточно большое, и они захватываются ионами. При расчете факела плазмы дополнительно учтен вклад следующих реакций:

Таблица 2.

	Упругое рассеяние	Источник
1	$e + He^+(G) \rightarrow e + He^+(G)$	[3]
2	$e + N_2^+(G) \rightarrow e + N_2^+(G)$	[3]
3	$e + e \rightarrow e + e$	[3]
	<b>Тройная рекомбинация</b>	
4	$e + He^+(G) \rightarrow He(G)$	[2]
5	$e + N_2^+(G) \rightarrow N_2(G)$	[2]
	<b>Диссоциативная рекомбинация</b>	
6	$e + N_2^+(G) \rightarrow N + N$	[7]

Отметим, что в межэлектродном зазоре эти реакции нами не учитывались из за большой средней энергии электронов и соответственно малых значений сечений этих реакций.

Численное моделирование разряда пучкового типа методом Монте-Карло в факеле плазмы в приближении нулевого электрического поля проведено с использованием процедуры самосогласования. Эта процедура основана на предположении, что процессы ионизации, возбуждения, упругого удара, диссоциации, рекомбинации, электрон-электронных и электрон-ионных столкновений находятся в динамическом равновесии в квазистационарном случае, а, следовательно, можно модифицировать метод Монте-Карло, описанный в [5], следующим образом:

1. Функция распределения электронов считается найденной, т. е. задается первое приближение для ФРЭЭ.

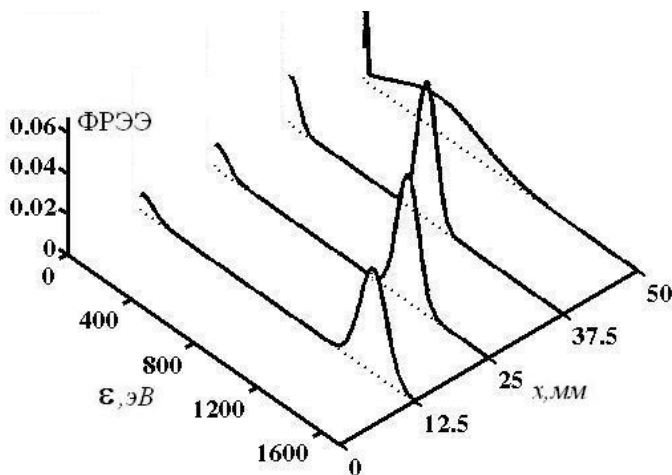
2. Каждый последующий электрон, проходя через фазовое пространство, вносит малое возмущение в функцию распределения, и изменяет ее. Изменение функции распределения происходит только после того, как закончен расчет электрона вылетевшего из межэлектродного зазора и всех вторичных электронов рожденных им.

3. Измененная функция распределения используется в качестве исходной для следующего электрона, вылетевшего из межэлектродного зазора.

Данная процедура повторяется, пока изменение функции распределения не станет пренебрежимо малым.

Распределение электронов по энергиям на аноде при расчете ФРЭЭ в факеле плазмы было взято из результатов численного моделирования ее в ускоряющем зазоре (рис. 3) при  $x=1$  мм.

На рис. 4 показана рассчитанная функция распределения электронов по энергиям в факеле  $He-N_2$  плазмы в зависимости от расстояния до анода.



**Рисунок 4. Функция распределения электронов по энергиям в факеле  $He-N_2$  плазмы**

Из рис. 4 видно, что в факеле  $He-N_2$  плазмы функция распределения электронов изменяется с расстоянием до анода таким образом, что пик соответствующий быстрым электронам сдвигается в сторону меньших энергий и его полуширина становится больше. В результате реакций ионизации, возбуждения, упругого удара, диссоциации, электрон-электронных и электрон-ионных столкновений происходит перенос электронов из области высоких энергий в область низких.

Таким образом, для медленных электронов расчет ФРЭЭ по методу Монте-Карло, описанному в работе [5], приводит к огромным вычислительным сложностям. Разработанная нами процедура самосогласования дает возможность корректно рассчитать ФРЭЭ во всем диапазоне энергий.

### **Список литературы:**

1. Алхазов Г.Д. // ЖТФ. — 1970. — Т. 50. — Вып. 1. — С. 97—107.
2. Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Баратковский А.М. и др. Физические величины: Справочник. М.: Энергоатомиздат. — 1991. — 1232 с.
3. Голант В.У, Жлинский А.П., Сахаров И.Е. Основы физики плазмы. Атомиздат, 1977. — 384 с.
4. Демкин В.П., Королев Б.В., Мельничук С.В.// Физика плазмы. — 1995. — Т. 21. — № 1. — С. 81—84.
5. Voeuf J.P., Marode E.A Monte Carlo analysis of an electron swarm in a nonuniform field: the cathode region of a glow discharge in helium // J. Phys. D: Appl. Phys., 15 (1982) 2169—2187. Printed in Great Britain.
6. Demkin V.P., S.V. Melnichuk, A.V. Borisov, B.S. Semukhin, S.S. Bardin, Russian Physics Journal. 55, 1222 (2013).
7. Tabata T. et al./ Atomic Data and Nuclear Data Tables. — 2006. — Vol. 92. — P. 375—406.
8. Yu Z., J.J. Rocca and G.J. Collins, J. Appl. Phys. 54(1), 131 (1983).



## СЕКЦИЯ 4.

## БИОЛОГИЯ

### 4.1. БИОГЕОЦЕНОЛОГИЯ

#### РАСТИТЕЛЬНЫЕ АНТИГЕЛЬМИНТНЫЕ СРЕДСТВА В ВЕТЕРИНАРИИ

*Фархадов Гадир Теймур оглы*

*д-р философии по биологии, директор  
Нахичеванского научно-исследовательского ветеринарного центра,  
Азербайджан, г. Нахичевань  
E-mail: [qadir\\_farhadov@hotmail.com](mailto:qadir_farhadov@hotmail.com)*

#### VEGETABLE DEWORMING DRUGS IN VETERINARY MEDICINE

*Farhadov Qadir Teymur oglu*

*Ph.D. in Biology, Director of Nakhchivan Research Veterinary Centre,  
Azerbaijan, Nakhichevan*

#### АННОТАЦИЯ

Установлено, что размолотые семена тыквы (семейство тыквенных Cucurbitaceae) оказались антигельминтным терапевтическим средством. Для этого дозу семян нужно выбрать в зависимости от возраста ягнят. В наших опытах для 4-х месячных ягнят установлена доза от 30 до 40 г., 4—12 месячных от 40 до 50 г. семян.

#### ANNOTATION

It is established that the ground pumpkin seeds (family of pumpkin Cucurbitaceae) were anthelmintic therapeutic environments-government. For this dose of seeds to choose depending on the age of the lambs.

In our experiments, for 4 months old lambs installed dose of 30 to 40 g, 4—12 monthly from 40 to 50 g of seeds.

**Ключевые слова:** гельминты; тыква; семена; мониезиоз; цестида.

**Keywords:** helminthes; pumpkin seeds; moniezioz; zestida.

**Ведение:** С давних пор тыква считается лечебной. Многие знают о ее полезных свойствах. Лечебные свойства семян тыквы издавна использовали при лечении многих заболеваний. Семечки тыквы богаты органическими кислотами, минеральными солями, витаминными и другими полезными веществами для организма. Семена тыквы обладают антидиабетическими, антигельминтными (противоглистными) свойствами. Лечебные свойства тыквенных семян известны благодаря содержащейся в них аминокислоте кукурбитину. Лечебные вещества сконцентрированы в **неочищенном тыквенном семени**. Лечебные свойства имеет кожура — серо-зеленый верхний слой семян тыквы, т. к., *кукурбитин содержится именно в этой тоненькой кожуре*. Активным веществом, определяющим пртиво-глистное действие семян тыквы, является **кукурбитин**. Особенно ценным является то, что столь непереносимый для глистов, для человека и животных кукурбитин абсолютно безвреден.

Особую славу семена тыквы приобрели благодаря **цинку**. В семенах тыквы (особенно в зеленой кожуре) его содержится почти столько же, сколько в устрицах (устрицы — самый богатый источник природного цинка). Издавна известны глистогонные и противо-диабетические свойства семян тыквы. Для сохранения целебных свойств тыквенные семена должны быть без обработки, неочищенные и необжаренные.

Мука из семян тыквы имеет зеленоватый оттенок из-за верхнего зеленого слоя семени. Существует большое количество лекарственных препаратов, применяемых при гельминтозах мелкого рогатого скота. Но бессистемное и длительное применение одних и тех же препаратов развивает у гельминтов устойчивость, что ведет к снижению эффективности дегельминтизации. Из-за ядовитости некоторых антгельминтиков их применение оказывается недоступным, в частности при дегельминтизации ягнят от мониезиоза. С целью более доступного для широкой практики разрешения последнего вопроса считаем возможным рекомендовать метод групповой подкормки ягнят размолотыми семенами тыквы. Для разрешения поставленной задачи мы с успехом использовали продукты семян тыквы для группового

однократного кормления ягнят в назначенное время. Одновременно с этим использовали химический препарат Никлозамид.

Мониезиозом в основном болеют ягнята, козлята в возрасте 1,5—8 месяцев и новорожденные телята. Мониезиоз среди ягнят (*M. expansa*), как правило, протекает в форме эпизоотий, гибель молодняка при этом может достигать 80 % [1—4].

Экстенсивность инвазии *M. expansa* с возрастом ягнят снижается. В Нахичеванской автономной Республике у ягнят текущего года рождения заболевание гельминтоспориозом составляет 48 %, старше 5 лет не встречается.

**Материал и методы.** Изучение антгельминтной эффективности семян тыквы при мониезиозе ягнят проводили в июне 2007 г. в селе Джагри Бабекского района Нахичеванской автономной Республики неблагополучном по мониезиозу. Предварительно проводили гельминтоскопические исследования фекалий ягнят. Для опыта использовали ягнят в количестве 80 голов спонтанно инвазированных монезиями. Ягнят разделили на 4 группы по 20 голов в каждой по принципу аналогов. При приготовлении тыквенной муки делали расчет 5 кг комбикорма на 1 кг муки тыквы на 20 голов ягнят. Выделили 3 подопытных группы. Полученную смесь скармливали всем подопытным ягнятам натошак из общих кормушек. Корм раскладывали по кормушкам с таким расчетом, чтобы группы ягнят имели к нему свободный доступ. Слабых ягнят отсаживали. Ягням первой подопытной группы давали с кормом муку тыквы однократно в дозе 60 г каждому. Результаты исследований воздействия муки тыквы на гельминтоспориоз представлены в таблице.

*Таблица 1.*

**Эффективность подкормки ягнят до года  
из муки тыквы при мониезиозе**

Доза муки из семян тыквы	Количество подопытных ягнят, гол.	Всего выделилось монезий, шт.	Ягнята, выделившие монезии, гол.	Эффективность, %
60 г	20	108	18	90
30 г x 2	20	67	14	70
Никлозамид	20	128	19	95
Контроль	20	1	1	5
-	80	304	52	65

Ягн्याтам второй группы давали семян тыквы по 30 г каждому двукратно. Третьей подопытной группе давали Никлозамид в дозе одна таблетка на голову. Ягнята четвертой группы препарат не получали и служили контролем.

Отхождение гельминтов продолжалось в течение 10—15 часов. В течение 7 дней в первой группе выделилось 108, во второй 67 цестид, в третьей 128 экземпляров монезий. После этого индивидуально каждому ягненку каждой группы был дан Ареколин. В первой и второй группе после этого выделилось по 5, в третьей только 1 цестиды от одного ягненка. В период опыта после дачи препаратов никаких клинических изменений в состоянии ягнят не наблюдали. Эффективность препаратов учитывали через 12 часов после дегельминтизации по результатам гельминтоскопических исследований фекалий всех групп ягнят с подсчетом количество монезий.

После дачи препаратов из семян тыквы и Никлозамида выявлено, что на организм ягнят семена тыквы не оказали токсического влияния. Но, химический препарат Никлозамид оказался малотоксичен. Это дает основание считать, что естественные природные продукты более приемлемы, чем химические антигельментики.

**В результате полученных данных мы пришли к заключению, что тыквенные семена является высокоэффективным средством при ленточно-глистном мониезиозе ягнят.** Размолотые различных сортов семена тыквы (сем. тыквенных Cucurbitaceae) в виде мешенки оказались антигельминтным терапевтическим средством. Для этого дозу семян нужно выбрать в зависимости от возраста ягнят. В наших опытах для 4-х месячных ягнят установлена доза от 30 до 40 г., 4—12 месячных от 40 до 50 г.

### **Список литературы:**

1. Абуладзе К.И. Паразитология и инвазионные болезни сельскохозяйственных животных. Москва: Агропромиздат, 1990. — 463 С.
2. Атаев А.М., Газимагомедов М.Г., Зубаирова М.М., Карсаков Н.Т., Танзиоров К.А., Телевова Н.Р., Хизриев М.Х. Концепция борьбы с гельминтозами жвачных в Дагестане // Материалы научн. конф. ВОГ. М., 2011. Вып. 12. — С. 35—40.
3. Кармалиев Р.С. Резистентность гельминтов к антигельментикам и методы их тестирования // Ветеринария — 1992. — № 9—12. — с. 31—34.
4. Кармалиев Р.С. Резистентность нематод животных к антигельминтикам в Западном Казахстане // Труды Всероссийского института гельминтологии имени К.И. Скрябина, — 2005. — Т. 41. — с. 181—187.

## 4.2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

### ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО КРАСНОГО СВЕТА НА СВОБОДНОРАДИКАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ МОЩНЫМ ЛАЗЕРОМ

***Баврина Анна Петровна***

*канд. биол. наук, доцент кафедры медицинской физики  
Нижегородской государственной медицинской академии,  
г. Нижний Новгород  
E-mail: [annabavr@rambler.ru](mailto:annabavr@rambler.ru)*

***Монич Виктор Анатольевич***

*д-р биол. наук, зав. кафедрой медицинской физики  
Нижегородской государственной медицинской академии,  
г. Нижний Новгород*

***Малиновская Светлана Львовна***

*д-р биол. наук, профессор кафедры медицинской физики  
Нижегородской государственной медицинской академии,  
г. Нижний Новгород*

***Борзиков Владимир Владимирович***

*аспирант кафедры физиологии и биохимии человека и животных  
Нижегородского государственного университета,  
г. Нижний Новгород*

***Кононов Александр Дмитриевич***

*студент Нижегородской государственной медицинской академии,  
г. Нижний Новгород*

***Котельникова Анастасия Олеговна***

*студент Нижегородской государственной медицинской академии,  
г. Нижний Новгород*

# THE IMPACT OF LOW-INTENSIVE LIGHT ON THE FREE-RADICAL OXIDATION AFTER EXPOSURE TO A POWERFUL LASER

***Bavrina Anna***

*candidate of Science, assistant professor of medical physics department  
of Nizhny Novgorod State Medical Academy,  
Nizhny Novgorod*

***Monich Victor***

*doctor of Science, professor, head of medical physics department  
of Nizhny Novgorod State Medical Academy,  
Nizhny Novgorod*

***Malinovskaya Svetlana***

*doctor of Science, professor of medical physics department of NNSMA,  
Nizhny Novgorod*

***Borsikov Vladimir***

*graduate student of physiology and biochemistry of the human  
and animal department of Lobachevsky State University,  
Nizhny Novgorod*

***Kononov Aleksandr***

*student of Nizhny Novgorod State Medical Academy,  
Nizhny Novgorod*

***Kotelnikova Anastasia***

*student of Nizhny Novgorod State Medical Academy,  
Nizhny Novgorod*

## АННОТАЦИЯ

При исследовании глутатион-S-трансферазы и продуктов окислительной модификации белков в сыворотке крови и мышечной ткани крыс после воздействия мощным лазером обнаружено уменьшение активности фермента и увеличение количества продуктов окислительной модификации белков. При последующем воздействии широкополосным красным светом выявлено увеличение активности глутатион-S-трансферазы и снижение уровня продуктов окисления. Сделан вывод, что широкополосный свет данного спектра

и интенсивности вызывает корректирующее действие, направленное на нормализацию активности антиоксидантной системы.

#### ABSTRACT

An decrease of glutathione-S-transferase activity and increase of quantity of products of protein oxidative modification in blood serum and muscle tissue of rats after exposure to powerful laser has been detected. An increase of glutathione-S-transferase activity and decrease of level of products of oxidation after subsequent exposure to broadband red light has been discovered. It has been concluded that broadband light caused corrective action aimed at normalization the activity of antioxidant system.

**Ключевые слова:** окислительная модификация белков; глутатион-S-трансфераза; красный свет; лазер.

**Keywords:** protein oxidative modification; glutathione-S-transferase; red light; laser.

В связи с технологическим прогрессом, во многих областях науки и практической медицины, проводится внедрение инновационных методов и инструментов, таких как применение лазеров. Свойства лазерного излучения позволили широко его применять в различных областях: хирургии, терапии и диагностике. Клинические исследования показали эффективность воздействия на патологический очаг и на весь организм в целом лазеров ультрафиолетового, видимого и инфракрасного спектров.

Одно из свойств лазерного облучения — резкая зависимость величины и даже знака эффекта от дозы облучения и функционального состояния биологического объекта, будь то изолированные клетки, ферментные системы или организм человека в целом. Позитивное, стимулирующее действие излучения проявляется, как правило, в узком интервале интенсивностей, а затем исчезает или даже сменяется угнетающим действием. Это справедливо рассматривается как указание на несколько разных механизмов действия лазерного света. Мощный лазерный луч, попадающий на биологические ткани, может вызвать серьезные поражения, такие как нарушения в деятельности ЦНС, сердечно-сосудистой системы, эндокринных желез, сворачивание или распад крови, повреждение глаз, кожи, генетические изменения, головную боль, расстройства сна, слабость [3].

В связи с этим актуальной задачей является поиск терапевтических и лечебных средств, направленных на снижение сверхтерапевтического воздействия на органы и ткани организма.

Одним из наиболее важных показателей состояния организма в норме и при патологии является уровень продуктов свободно-радикального окисления и ферментов антиоксидантной защитной системы. Для оценки данных показателей проводятся исследования активности антиоксидантных ферментов, а также содержания продуктов перекисного окисления липидов и белков. Одним из самых распространенных ферментов, используемых для оценки активности антиоксидантной системы организма, является глутатион-S-трансфераза (GST), которая обнаружена практически во всех животных клетках и катализирует большое количество реакций.

Также известно, что широкополосный красный свет видимого спектра обладает способностью реактивировать антиоксидантные ферменты и в связи с этим снижает продукцию активных форм кислорода, повреждающих различные структуры клетки при негативном воздействии на организм [2].

**Цель исследования:** изучение влияния широкополосного красного света на свободно-радикальное окисление в сыворотке крови и мышечных тканях крыс после облучения мощным лазером видимого спектра.

**Материалы и методы.** Исследования проводились на беспородных белых крысах массой 180—250 грамм, которые были разделены на 3 группы. Первую группу (контроль) составили 10 крыс, получивших локальное сверхтерапевтическое облучение внутренней поверхности бедра мощным лазером видимого спектра. Облучение проводилось лазером с длиной волны 671 нм и выходной мощностью 50 мВт. Интенсивность лазера в месте светового пятна составила 0,55 Вт/см<sup>2</sup>. Вторую группу (опыт) составили 10 крыс, также получивших локальное облучение внутренней поверхности бедра лазером, но впоследствии та же область бедра ежедневно (в течение 3 дней) облучалась низкоинтенсивным красным светом в течение 20 минут. Интенсивность широкополосного света в зоне светового пятна составила 5 мВт/см<sup>2</sup>. В эксперименте использовался свет сверх яркого светодиода с максимумом спектрального диапазона 630 нм и шириной на полувысоте 20 нм. Третью группу лабораторных животных (интактная группа или норма) составили 10 крыс, не подвергавшихся облучению. Забор мышечной ткани бедра и сыворотки крови производился на третьи сутки во всех группах животных.

Интенсивность свободно-радикального окисления в мышечной ткани и сыворотке крови лабораторных животных оценивали по содержанию продуктов окислительной модификации белков



(ОМБ): алифатических альдегид- и кетон-динитрофенилгидразонов нейтрального и основного характера.

Состояние антиоксидантной системы оценивали по активности GST — фермента, ответственного за конъюгацию сульфгидрильной SH<sub>2</sub> группы с электрофильными атомами С, N, S, O молекул ксенобиотиков. GST катализирует реакцию глутатиона с различными алифатическими, ароматическими, эпоксидными и гетероциклическими радикалами экзогенных повреждающих веществ. GST найдены у всех млекопитающих, а также растений [5]. Каталитическая активность GST обеспечивает клетку механизмом защиты от вредного воздействия активных форм кислорода [7].

Исследование ОМБ проводили по методу Е.Е. Дубининой [4], основанному на реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином с образованием производных 2,4-динитрофенилгидразона. Образовавшиеся карбонильные группировки характеризуют степень деструкции белковых молекул в результате свободнорадикального окисления.

Анализ активности GST проводили по скорости образования глутатион-S-конъюгатов между восстановленным глутатионом и 1-хлор-2,4-динитробензолом по методу W.H. Habig [6].

Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью пакета прикладных программ для обработки биологической и медицинской информации Biostat. Распределение полученных результатов оказалось ненормальным, поэтому для определения различий между группами был использован непараметрический критерий Фишера. Достоверными считались различия при  $p \leq 0,05$ . Результаты представлены в виде  $M \pm \sigma$ , где M — среднее значение, а  $\sigma$  — среднее квадратичное отклонение.

#### **Результаты и обсуждение.**

При исследовании GST в сыворотке крови лабораторных животных опытной группы обнаружено достоверное увеличение активности фермента по сравнению с контрольной группой ( $p < 0,01$ ), при этом активность фермента в сыворотке крови увеличилась на 55,5 % (табл. 1).

**Таблица 1.**

**Активность GST в сыворотке крови контрольной и опытной группы лабораторных животных в сравнении с нормой**

<b>Фермент</b>	<b>Норма</b>	<b>Контроль</b>	<b>Опыт</b>	<b>фактическая величина допустимого уровня значимости p</b>
GST, моль/л•мин	23,8±2,6	15,5±2,9*	24,1±5,0**	0,005 (*) 0,00267 (**)

*Примечание: \* — статистически значимые различия между нормой и контрольной группой ( $p \leq 0,05$ );*

*\*\* — статистически значимые различия между контрольной и опытной группами ( $p \leq 0,05$ ).*

Кроме того, из таблицы 1 видно, что различия между интактной группой (норма) и опытной группой отсутствуют, что свидетельствует о нормализации активности антиоксидантного фермента после коррекции нарушений низкоинтенсивным красным светом. Снижение активности GST в контрольной группе связано с угнетающим действием мощного лазерного излучения, затрагивающее все системы организма и также выражающееся в угнетении антиоксидантной системы организма. Активация GST в опытной группе, по нашему мнению, вызвана дополнительным синтезом металлосодержащих антиоксидантных ферментов таких, как супероксиддисмутаза, каталаза и т. д., имеющих спектр поглощения в красной области видимого света, в ответ на воздействие низкоинтенсивным красным светом [8], т. е. общим повышением активности антиоксидантной системы организма.

При анализе продуктов ОМБ в сыворотке крови и мышечной ткани лабораторных животных установлено, что воздействие мощным лазером видимого спектра сопровождается достоверным повышением содержания продуктов окисления в биоматериале ( $p < 0,01$ ), а последующее облучение широкополосным красным светом вызывает снижение данных продуктов до уровней, близких к нормальным по многим показателям (табл. 2 и табл. 3).

**Таблица 2.**

**Содержание продуктов ОМБ в мышечной ткани бедра контрольной и опытной группы в сравнении с нормой**

<b>Продукт ОМБ (ед.оп.пл/г белка)</b>	<b>Норма</b>	<b>Контроль</b>	<b>Опыт</b>	<b>фактическая величина допустимого уровня значимости р</b>
356 нм	0,520±0,07	1,037±0,14*	0,691±0,23***	0,005 (*) 0,01 (***)
363 нм	0,466±0,06	0,994±0,30*	0,387±0,11***	0,04 (*) 2,01•10-5 (***)
370 нм	0,571±0,07	2,186±0,13*	1,115±0,19**,***	3,61•10-5 (*) 0,03 (***) 3,84•10-5 (***)
430 нм	0,330±0,06	0,818±0,06*	0,480±0,11***	0,01 (*) 0,044 (***)
530 нм	0,102±0,08	0,595±0,08*	0,149±0,03***	0,001 (*) 2,95•10-5 (***)

*Примечание: \* — статистически значимые различия между нормой и контрольной группой ( $p \leq 0,05$ );*

*\*\* — статистически значимые различия между нормой и опытной группой ( $p \leq 0,05$ );*

*\*\*\* — статистически значимые различия между контрольной и опытной группами ( $p \leq 0,05$ ).*

Таблица 3.

**Содержание продуктов ОМБ в сыворотке крови контрольной и опытной группы в сравнении с нормой**

Продукт ОМБ (ед.оп.пл/г белка)	Норма	Контроль	Опыт	фактическая величина допустимого уровня значимости $p$
356 нм	0,890±0,06	1,096±0,08*	1,061±0,08**	0,05 (*) 0,05 (**)
363 нм	0,806±0,02	0,976±0,09*	0,934±0,06**	0,05 (*) 0,05 (**)
370 нм	0,632±0,02	0,808±0,08*	0,780±0,05**	0,04 (*) 0,05 (**)
430 нм	0,276±0,01	0,434±0,03*	0,395±0,01**	0,04 (*) 0,03 (**)
530 нм	0,049±0,009	0,164±0,01*	0,0506±0,01***	0,001 (*) 0,03 (***)

*Примечание:* \* — статистически значимые различия между нормой и контрольной группой ( $p \leq 0,05$ );

\*\* — статистически значимые различия между нормой и опытной группой ( $p \leq 0,05$ );

\*\*\* — статистически значимые различия между контрольной и опытной группами ( $p \leq 0,05$ ).

В таблицах 2 и 3 продукты ОМБ (алифатические альдегид- и кетон-динитрофенилгидразоны нейтрального и основного характера) указаны в соответствии с длинами волн, на которых у данных продуктов наблюдается максимум поглощения: для алифатических альдегид-динитрофенилгидразонов нейтрального характера спектр поглощения зарегистрирован в диапазоне 260—558 нм; алифатических альдегид-динитрофенилгидразонов основного характера — в диапазоне 258—264 и 428—520 нм; алифатических кетон-динитрофенилгидразонов нейтрального характера — 363—367 нм; алифатических кетон-динитрофенилгидразонов основного характера — 430—434 и 524—535 нм [4]. Достоверное снижение содержания продуктов ОМБ в мышечной ткани бедра опытной группы животных до уровней, близких к нормальным свидетельствует об активации антиоксидантной системы организма. По-видимому, основным фактором, приводящим к повышению активности антиоксидантных ферментов после облучения крыс мощным лазером, является последующее облучение красным широкополосным светом. При этом эффект снижения продуктов ОМБ более явно наблюдался при исследовании

непосредственно облученной мышечной ткани, чем при исследовании сыворотки крови. Кроме того, между количеством продуктов ОМБ и активностью GST в сыворотке крови контрольной и опытной групп наблюдалась корреляция, сила которой варьировалась от слабой до средней для разных продуктов ОМБ. В контрольной группе корреляция между содержанием продуктов ОМБ и активностью GST была положительной и имела среднюю силу (0,7 для алифатических кетон-динитрофенилгидразонов нейтрального характера и 0,6 алифатических кетон-динитрофенилгидразонов основного характера). В опытной группе корреляция между данными параметрами оказалась отрицательной и имела слабую силу (от 0,3 до 0,4 для всех продуктов). Ранее сходные результаты получены при изучении корректирующего действия низкоинтенсивного красного света после облучения лабораторных животных гамма-излучением [1].

**Заключение.** Исходя из результатов проведенного исследования, можно сделать вывод, что облучение мышечной ткани крыс высокоинтенсивным лазером видимого спектра вызывает снижение активности глутатион-S-трансферазы в сыворотке крови. Также после воздействия лазером происходит повышение уровня продуктов ОМБ в сыворотке крови и мышечной ткани животных. Последующее облучение той же области широкополосным красным светом приводит к снижению количества продуктов ОМБ в сыворотке крови и, в особенности, в мышечной ткани бедра крыс. Данный эффект, возможно, связан с повышением активности антиоксидантных ферментов, в том числе глутатион-S-трансферазы после воздействия широкополосным красным светом. Таким образом, низкоинтенсивный красный свет обладает корректирующим действием, направленным на нормализацию активности антиоксидантной системы.

### Список литературы:

1. Баврина А.П., Монич В.А., Малиновская С.Л., Яковлева Е.И., Бугрова М.Л., Ермолаев В.С., Дружинин Е.А. Эффекты последовательного воздействия гамма-излучением и низкоинтенсивным красным светом на мышечные ткани крыс // Вестник нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2013. — № 2(1). — С. 113—117.
2. Баврина А.П., Монич В.А., Ермолаев В.С., Дружинин Е.А., Лютов С.И. Фотомодификация свободно-радикального окисления в мягких тканях крыс после воздействия ионизирующей радиацией // Вестник новых медицинских технологий. — 2012. — № 3. — С. 173—174.
3. Владимиров Ю.А. Три гипотезы о механизме действия красного (лазерного) света. М.: НИИ физ.-хим. медицины, 1994. — С. 23—35.

4. Дубинина Е.Е., Бурмистров С.О., Ходов Д.А. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения // Вопросы медицинской химии. — 1995 — № 41. — С. 24—26.
5. Кулинский В.И. Обезвреживание ксенобиотиков // Соросовский образовательный журнал. — 1999. — № 1, — С. 8—12.
6. Медицинские лабораторные технологии / Под ред. А.И. Карпищенко. СПб.: Интермедика, — 2002. — Т. 2. — 400 с.
7. Cao K., Stack D.E., Ramanathan R., Gross M.L., Rogan E.G., Cavalieri E.L. Synthesis and structure elucidation of estrogen quinones conjugated with cysteine, N-acetylcysteine, and glutathione // Chem. Res. Toxicol. — 1998. — Vol. 11. — P. 908—916.
8. Monich V., Drugova O., Lazukin V., Bavrina A. Low-power light and isolated rat hearts after ischemia of myocardium // Journal of Photochemistry and Photobiology. — 2011. — Vol. 105 — P. 21—24.

## 4.3. ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ИЗБЫТОЧНЫЙ АКТИВНЫЙ ИЛ КАК КОРРЕКТИРУЮЩАЯ ДОБАВКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМЗИТА

*Ананьев Денис Сергеевич*

*бакалавр химической технологии и биотехнологии ВолгГТУ,  
г. Волгоград*

*E-mail: [D19921@yandex.ru](mailto:D19921@yandex.ru)*

*Картушина Юлия Николаевна*

*канд. геол.-минерал. наук, доцент ВолгГТУ,  
г. Волгоград*

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

### MODERN METHODS OF DISPOSAL OF MUNICIPAL SEWAGE TREATMENT PLANTS. THE SURPLUS ACTIVE SLUDGE AS A CORRECTIVE ADDITIVE IN THE PRODUCTION OF EXPANDED CLAY

*Ananiev Denis*

*bachelor of chemical technology and biotechnology  
of Volgograd State Technical University,  
Volgograd*

*Kartushina Julia*

*candidate of geological-mineralogical sciences, associate professor  
of Volgograd State Technical University,  
Volgograd*

## АННОТАЦИЯ

Целью статьи является рассмотрение методов утилизации отходов после биологической очистки сточных вод, и проанализировано влияние предлагаемой добавки на вспучивания керамзитового сырья. В статье перечислены современные методы утилизации осадка, приведены основные химические реакции, происходящие при вспучивании керамзита с добавлением в сырье отходов. Корректирующая добавка из органических примесей избыточного активного ила создает условия для нормального вспучивания керамзитового сырья.

Используя рассмотренные в статье методы утилизации отходов очистных сооружений, можно решить ряд материальных и экологических проблем.

## ABSTRACT

The aim of the article is a review of methods of waste disposal biological treatment of wastewater, and the influence of the proposed additions to the expansion gravel materials. This article lists the modern methods of sludge disposal, are the basic chemical reactions occurring at manufacturer of expanded clay with addition of the raw waste. Adjusting add organic impurities of the surplus active sludge creates conditions for normal expansion gravel materials.

Using the paper methods of waste treatment facilities, you can solve a number of substantive and environmental problems.

**Ключевые слова:** керамзит; биологическая очистка; легкоплавкие глины; активный ил; вспучивание.

**Keywords:** expanded clay; biological treatment; low-melting clays; active sludge; swelling.

Объем ежегодного образования отходов в Российской Федерации составляет 3,5 млрд. тонн: 90 % из них вывозится на полигоны и свалки, утилизируется 10 %, около 7 % сжигается и только 3 % подвергается вторичной переработке. При очистке хозяйственно-бытовых стоков на городских очистных сооружениях образуется осадок (примерно 750 м<sup>3</sup> осадка из 100 000 м<sup>3</sup> сточной жидкости), под хранение которого отчуждаются обширные территории со специально оборудованными площадками [2, с. 27]. В результате происходит образование экологически опасных объектов-полигонов складирования осадков сточных вод и активного ила, характеризующихся высокой степенью негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека. При этом переработка



и вторичное использование уже образовавшихся и размещенных отходов (относящихся к 4 классу опасности) практически не ведется.

Изучаемый вид отхода представляет собой смесь осадка из первичных отстойников и активного ила из илоуплотнителя, с влажностью примерно 80 % и содержанием органических (до 80 %) и минеральных (около 20 %) примесей:

- органические соединения, в том числе углерод и жирные кислоты;
- минеральные компоненты, в том числе минеральный азот;
- фосфор ( $P_2O_5$ ); калий ( $K_2O$ ); железо ( $Fe_2O_3$ ) и др.

Помимо минеральных компонентов в нем присутствуют патогенные организмы, избыточное количество нитратов, токсичные вещества, алифатические соединения, эфиры, фенолы и т. д. [1, с. 32].

Избыточный активный ил — это сложный органо-минеральный комплекс, органическая часть которого представляет собой биомассу и частично разложившиеся окисленные органические вещества бытовых сточных вод, а также азот- и фосфорсодержащие соединения.

Органическая часть активного ила в основном состоит из вещества белкового происхождения (до 50 %) при содержании жиров и углеводов соответственно до 30 и 10 %. Во влажном осадке из первичных отстойников белков примерно в 2 раза меньше, а углеводов в 2,5—3 раза больше, чем в активном иле.

Существует ряд методов для хозяйственного использования отходов очистных сооружений:

- обеззараживание и детоксикация осадков с получением органо-минеральных удобрений и компостов [6, с. 87; 3, с. 42];
- анаэробная деструкция и обеззараживание ОСВ с получением биогаза [4, с. 124; 5, с. 55];
- термическая обработка — сжигание в печах различной конструкции и низкотемпературный пиролиз с получением жидкого топлива [6, с. 86].

Следует отметить, что, для промышленных городов, в которых имеется металлургические предприятия, в отходах очистных сооружений наблюдается наличие повышенного уровня содержания металлов в сравнении с фоновыми концентрациями.

Анализ научно-технической литературы по методам обеззараживания и детоксикации, удалению из осадков ионов тяжелых металлов показал, что для этих целей используется специальная обработка химическими реагентами и препаратами. Такое обезвреживание осадков основано на замещении тяжелых металлов на ионы щелочных и щелочно-земельных металлов, а так же связывании

подвижных ионов тяжелых металлов в труднорастворимые комплексные соединения [4, с. 126; 5, с. 66].

Предлагаемое нами направление утилизации осадка сточных вод — применение его в качестве корректирующей добавки при производстве строительного материала — керамзитового гравия. Этот метод включает в себя термическую обработку отхода, при которой погибают опасные возбудители заболеваний.

Керамзит представляет собой легкий пористый материал ячеистого строения в виде гравия, реже в виде щебня, получаемый при обжиге легкоплавких глинистых пород, способных вспучиваться при быстром нагревании. Он является экологичным и востребованным материалом, широко используемым при строительных работах.

Согласно литературным данным хорошо вспучиваются глинистые материалы, содержащие тонкодисперсные органические примеси в пределах 1—2 %, однако в некоторых случаях недостаток их может быть восполнен соответствующими добавками (нефтяные продукты и отходы) [7, с. 44].

Применяемый в качестве подобной добавки осадок после биологической очистки сточных вод, содержит окислы железа и органические соединения, наличие которых создает оптимальные условия для вспучивания легкоплавких глин при производстве керамзита.

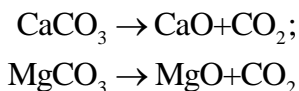
Процесс вспучивания состоит из двух стадий: первая — спекание с образованием закрытой поры и вторая — собственно вспучивание под давлением газов, выделяющихся внутри закрытой поры.

Источниками газообразования при использовании отходов очистных сооружений в качестве вспучивающей добавки керамзитовых гранул являются практически все минералогические составляющие отхода. При быстром обжиге, когда термическая обработка от 600 до 1150 °С продолжается около 8—70 мин. и происходит со скоростью 55—90 град/мин., остатки конституционной воды, двухкальциевого силиката и парафина удаляются при температуре вспучивания гранул и, несомненно, могут принимать участие в порообразовании и вспучивании пиропластической глинистой массы [7, с. 48]. Карбонаты кальция и железа интенсивно разлагаются при 859—950 и 400—500 °С соответственно. Продукты диссоциации также могут являться одним из источников образования газообразной фазы.

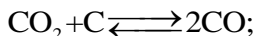
Окисление органического вещества начинается при температуре их воспламенения (180 °С), однако, полностью данный процесс в глинистой массе заканчивается при температуре 900—1000 °С,

то есть в тот период, когда прекращается противоток газообразных продуктов изнутри материала, препятствующий доступу воздуха. При быстром обжиге и недостатке кислорода органика выгорает в области температур размягчения глинистой массы [7, с. 78]. Химический и минералогический состав отходов позволил прогнозировать их благоприятное воздействие на вспучиваемость глинистого сырья как за счет значительного объема газообразующих составляющих, так и за счет температурного совпадения процессов интенсивного газообразования и оптимального размягчения глинистой массы.

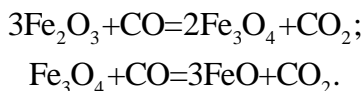
При температуре материала от 500 °С и после завершения процесса спекания, протекает процесс декарбонизации карбонатов кальция и магния:



Благодаря введенной в глинистое сырье органической добавке начинается взаимодействие между углекислым газом и твердым углеродом и образование в закрытых порах избыточного давления за счет выделения окиси углерода.



Окись углерода создает восстановительную среду и оксид железа (III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , содержащийся в глинистом сырье, восстанавливается до магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и оксида железа (II)  $\text{FeO}$ , с выделением углекислого газа по следующим реакциям:



Таким образом, благодаря введенной в глинистое сырье корректирующей добавки происходит выделения таких газов как  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , что приводит к росту гранулы керамзита изнутри и ее хорошему вспучиванию.

Используя выше описанные методы утилизации отходов очистных сооружений, можно решить следующие проблемы:

- улучшение состояния окружающей среды;
- расширение сырьевой базы строительных материалов;
- прекращение отчуждения и рекультивация земель используемых под полигоны;
- получение нового вида топлива;
- получение новых органо-минеральных удобрений.

### **Список литературы:**

1. Евилевич А.З. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Строй-издат, 1988. — 240 с.
2. Лукашевич О.Д., Барская И.В. Экологические проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод // Экология промышленного производства. — 2007. — № 3. — С. 68—75.
3. Покровская Е.В., Сергеева Т.Н. Утилизация осадков сточных вод // Экология и промышленность России. — 2005. — № 6. — С. 23—25.
4. Суханова Л.И. Утилизация осадков природных и сточных вод: обзор. инф. / ВНИИПИ. М., 1990. — 30 с.
5. Термическое обезвреживание промышленных органических отходов / М.Н. Бернадинер, В.В. Жижин, В.В. Иванов // Экология и промышленность России. — 2000. — № 4. — С. 17—21.
6. Туровский И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. М.: ДеЛи принт, 2008. — 375 с.
7. Онацкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат, 1987. — 337 с.

**РОЛЬ ОПЫТНОЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
СТАНЦИИ ПО «МАЯК»  
В РАЗВИТИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ  
(К 55-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ  
ОПЫТНОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ  
СТАНЦИИ ПО «МАЯК»)**

***Смагин Андрей Иванович***

*д-р биол. наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет,  
(национальный исследовательский университет),  
г. Челябинск  
E-mail: [Smagin54@mail.ru](mailto:Smagin54@mail.ru)*

***Лагунов Александр Васильевич***

*канд. биол. наук, ст. научн. сотр., заслуженный эколог России,  
«Ильменский государственный заповедник» УрО РАН,  
г. Миасс  
E-mail: [lagunov@ilmenv.ac.ru](mailto:lagunov@ilmenv.ac.ru)*

**THE ROLE OF THE MAYAK PA EXPERIMENTAL  
RESEARCH STATION IN THE DEVELOPMENT  
OF THE NATION AGREECULTURAL RADIOECOLOGY  
(55-YEAR ANNIVERSARY OF THE MAYAK PA  
EXPERIMENTAL RESEARCH STATION)**

***Smagin Andrey Ivanovich***

*doctor of Biological Sciences, professor, Southern Urals State University  
(national research university),  
Chelyabinsk*

***Lagunov Alexander Vasilyevich***

*candidate of Biological Sciences, senior scientist,  
honored ecologist of the Russian Federation,  
“Ilmen State reserve” Ural division of the Russian Academy of sciences,  
Miass*

## АННОТАЦИЯ

Приведена история создания Опытной научно-исследовательской станции ПО «Маяк». Показана роль Опытной станции в становлении отечественной радиозоологии.

## ABSTRACT

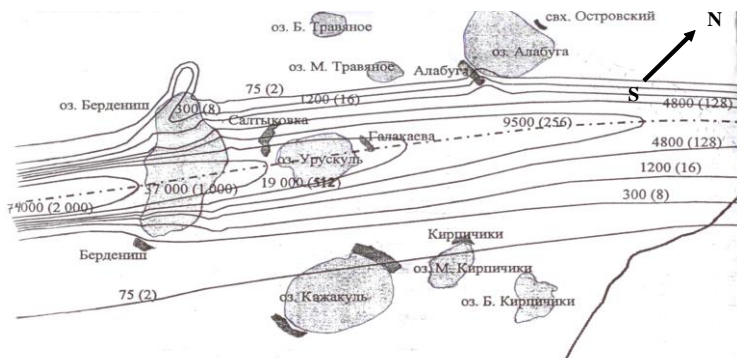
History of establishment of the Mayak experimental research station is presented. The role of development of the national radioecology is illustrated.

**Ключевые слова:** ПО «Маяк»; радиационная авария 1957 г.; радионуклиды; радиоактивное загрязнение; Опытная научно-исследовательская станция; реабилитационные мероприятия.

**Key words:** Mayak Production Association (Mayak PA); radiation accident of 1957; radionuclides; radioactive contamination; Experimental research station; rehabilitation measures.

29 сентября 1957 г. на комбинате № 817 (впоследствии ПО «МАЯК») произошла авария — химический взрыв емкости — хранилища радиоактивных отходов. Выброшенная в атмосферу смесь радионуклидов на 90 % состояла из короткоживущих изотопов. Долгоживущие радионуклиды были представлены  $^{90}\text{Sr}$ , доля которого вместе с дочерним  $^{90}\text{Y}$  составляла 5,4 % от общей активности, и  $^{137}\text{Cs}$ , доля которого, по уточненным данным, составляла около 1 %. В результате аварии в атмосферу поступило ~ 20 млн. Ки радиоактивных веществ, из них 90 % выпало на территории предприятия, а 10 % было вынесено в виде радиоактивного следа, протянувшегося узкой полосой более чем на 100 км [1, 4].

Сразу после аварии, в экстренном порядке, начались работы по дозиметрическому обследованию промышленной площадки предприятия. Для проведения оперативных мероприятий по дозиметрическому контролю мобилизовали всех работников дозиметрической службы предприятия и Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) ПО «МАЯК», где в экстренном порядке организовали изготовление радиометрических приборов и оборудования для проведения измерений. Уже в первые сутки после аварии была проведена  $\gamma$ -съемка радиоактивного следа на расстоянии более 100 км от источника загрязнения, который протянулся неширокой полосой на сотни километров от места аварии. В дальнейшем работы по более полному радиационному картированию загрязненных территорий продолжили, уделяя особое внимание обследованию населенных пунктов, расположенных в головной части радиоактивного следа (рис. 1).



**Рисунок 1. Схема плотности радиоактивного загрязнения головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа (изолинии соответствуют плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$   $\text{кБк}/\text{м}^2$ , а в скобках —  $\text{Ки}/\text{км}^2$ )**

Исследования, проведенные в первые дни после аварии, показали, что территория ряда населенных пунктов, расположенных в головной части радиоактивного следа, не пригодна для проживания населения и ведения сельскохозяйственных работ. На основании полученной оперативной информации из населенных пунктов, в которых радиационный фон превышал нормативы, эвакуировали около 10 тыс. человек. На загрязненных землях организовали санитарную зону, охраняемую сотрудниками милиции, доступ в которую для населения был полностью закрыт.

Весной 1958 г. для решения практических и научных задач по снижению радиоактивности местности, разработке мероприятий и методов возвращения сельскохозяйственных угодий в оборот, по инициативе руководителей атомной промышленности страны Е.П. Славского и А.Д. Зверева была создана Опытная научно-исследовательская станция (ОНИС). Первым директором ОНИС был назначен по совместительству начальник Центральной заводской лаборатории ПО «МАЯК» Глеб Аркадьевич Серeda, организовавший впоследствии Институты экспериментальной метеорологии и атомной энергетики в г. Обнинске. В разные годы ОНИСом руководили такие известные радиозкологи, как академик Н.А. Корнеев, к. б. н. Е.А. Федоров, к. т. н. Г.Н. Романов. Научную координацию работ, проводимых в ОНИС, осуществлял академик ВАСХНИЛ В.М. Клечковский (ученик академика Д.Н. Прянишникова) —

агрохимик и биофизик с мировым именем. На работу в ОНИС были направлены и молодые специалисты — выпускники ведущих вузов нашей страны.

С первых дней организации основной задачей ОНИС являлись вопросы изучения распределения, миграции радионуклидов по пищевым цепочкам при производстве сельскохозяйственной продукции и разработка способов и приемов по возвращению загрязненных радиоактивными веществами земель в сельскохозяйственный оборот. Это были проблемы, решение которых нельзя было откладывать, на что были брошены основные силы молодого научного коллектива. В 1957—1965 гг. на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) проводились крупномасштабные полевые работы по оценке распределения и накопления  $^{90}\text{Sr}$  и других радионуклидов сельскохозяйственными культурами на различных почвах, при различных плотностях загрязнения территории. В 1958—1960 гг. в реабилитационных работах по восстановлению загрязненных радионуклидами территорий принимало участие около 250 трактористов, и за предельно короткий срок было вспахано около 20 тыс. га. Это позволило снизить мощность экспозиционной дозы на 40—60 %. В 1961—1962 гг. 6200 га сельскохозяйственных угодий в головной части следа была обработана глубокой вспашкой. Применение комплекса мероприятий уже в первые годы после аварии позволило вернуть в сельскохозяйственный оборот часть загрязненных земель. Для решения комплексных радиоэкологических задач и проведения полномасштабных радиоэкологических исследований на территории ВУРСа к работам в ОНИС были привлечены крупные ученые: академики А.П. Александров, А.П. Виноградов, Н.П. Дубинин, И.К. Кикоин, М.С. Гиляров, В.Е. Соколов, В.Н. Сукачев, И.В. Тюрин и др. На ВУРСе постоянно работали специалисты из экспедиций десятков академических институтов, проводились исследования самого широкого спектра различных научных областей: радиоэкологии, геохимии, радиобиологии, медицины, геофизики и др. Многие специалисты, начинавшие работы в ОНИС, стали в последствии известными учеными: академик директор ВНИИСХРАЭ Р.М. Алексахин, академики Б.С. Пристер, Л.А. Булдаков, Д.А. Кривоуцкий, член корреспондент Шевченко, профессора Ф.А. Тихомиров, А.И. Ильенко, Н.М. Любашевский, В.А. Кальченко и др. [1, 2, 3].

В результате комплексных разноплановых исследований были изучены основные закономерности поведения радионуклидов в наземных и водных экосистемах, включая агроценозы. Применение разработанных и внедренных технологий и организационных



мероприятий совместно со специалистами АН СССР позволило к 1967 г. вернуть в сельскохозяйственный оборот большую часть территорий, пострадавших от радиоактивного загрязнения. В течение трех десятилетий на территории ВУРСа кроме коллектива ОНИС, насчитывающего сотни специалистов различного профиля, исследования проводили специалисты из десятков ведущих академических институтов нашей страны. Времена изменились. Сейчас исследовательские работы на ВУРСе, практически, прекращены, а Опытная научно-исследовательская станция закрыта, как и многие «отраслевые» институты, тематикой которых являлись прикладные исследования.

### **Список литературы:**

1. Алексахин Р.М. Организация научных исследований по радиоэкологии на Восточно-Уральском радиоактивном следе / Р.М. Алексахин, Д.А. Криволицкий, В.И. Соколов // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале: сб. ст. М.: Наука, 1993. — С. 6—12.
2. Алексахин Р.М. Сельскохозяйственная радиоэкология: этапы эволюции и некоторые итоги // Вопросы радиационной безопасности — 2007. — Спец выпуск. — С. 4—13.
3. Опытная научно-исследовательская станция ПО «Маяк». Изучение радиоэкологических, радиационно-гигиенических и социально-хозяйственных последствий массированного радиоактивного загрязнения больших площадей (1958—1984 гг.). Отчет по теме «Мираж». Т. III. Библиотека журнала «Вопросы радиационной безопасности». Из архивов ПО «Маяк», № 4 / Составители Л.А. Милакина, П.М. Стукалов. Озерск: Редакционно-издательский центр ВРБ. 2005. — 132 с.
4. Смагин А.И. Экология водоёмов в зоне техногенной радионуклидной геохимической аномалии на Южном Урале // Издательский центр ЮУрГУ. 2013. — 206 с.

**НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ  
РУКОКРЫЛЫМИ (CHIROPTERA),  
ОБИТАЮЩИМИ В РАЙОНЕ ПРЕДПРИЯТИЯ  
ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА  
НА ЮЖНОМ УРАЛЕ**

***Смагин Андрей Иванович***

*д-р биол. наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет,  
(национальный исследовательский университет),  
г. Челябинск  
E-mail: [Smagin54@mail.ru](mailto:Smagin54@mail.ru)*

***Орлов Олег Леонидович***

*канд. биол. наук, ст. научн. сотр.,  
Институт экологии растений и животных УрО РАН,  
г. Екатеринбург  
E-mail: [o\\_l\\_orlov@mail.ru](mailto:o_l_orlov@mail.ru)*

***Дмитриева Анастасия Владимировна***

*канд. биол. наук,  
научн. сотр. Южно-Уральский институт биофизики,  
г. Озерск Челябинская обл.  
E-mail: [d\\_a.v@mail.ru](mailto:d_a.v@mail.ru)*

***Завьялова Ирина Валерьевна***

*мл. научн. сотр. Южно-Уральский институт биофизики,  
г. Озерск Челябинская обл.  
E-mail: [nevolina@subi.su](mailto:nevolina@subi.su)*

# ACCUMULATION OF RADIONUCLIDES BY CHIROPTERA, INHABITING ZONE OF NUCLEAR FUEL CYCLE FACILITY IN THE SOUTH URALS

***Smagin Andrey Ivanovich***

*doctor of Biological Sciences, professor,  
Southern Urals State University (national research university),  
Chelyabinsk*

***Orlov Oleg Leonidovich***

*candidate of Biological Sciences, senior scientist, Institute of Animal and  
Plant Ecology of the Ural division of the Russian Academy of sciences,  
Yekaterinburg*

***Dmitrieva Anastasia Vladimirovna***

*candidate of Biological sciences, scientist,  
Southern Urals Biophysics Institute,  
Ozyorsk, Chelyabinsk region*

***Zavyalova Irina Valeryevna***

*Junior researcher, Southern Urals Biophysics Institute,  
Ozyorsk, Chelyabinsk region*

*Работа выполнена по программе Президиума РАН «Природная среда России: Адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики» (проект 12-П-4-1064) и гранта РФФИ-урал\_a № 10-05-96043*

## АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты исследований современных уровней радиоактивного загрязнения рукокрылых на Южном Урале. Показано, что летучие мыши, обитающие в постройках на берегу оз. Акакуль, расположенного вдали от источников радиации, накапливают радионуклиды в сотни-тысячи раз больше, чем животные из контрольных популяций. Вероятно, что радионуклиды поступают в организм летучих мышей по цепям питания из водоемов — хранилища радиоактивных отходов ПО «Маяк», расположенных на значительном расстоянии от оз. Акакуль.

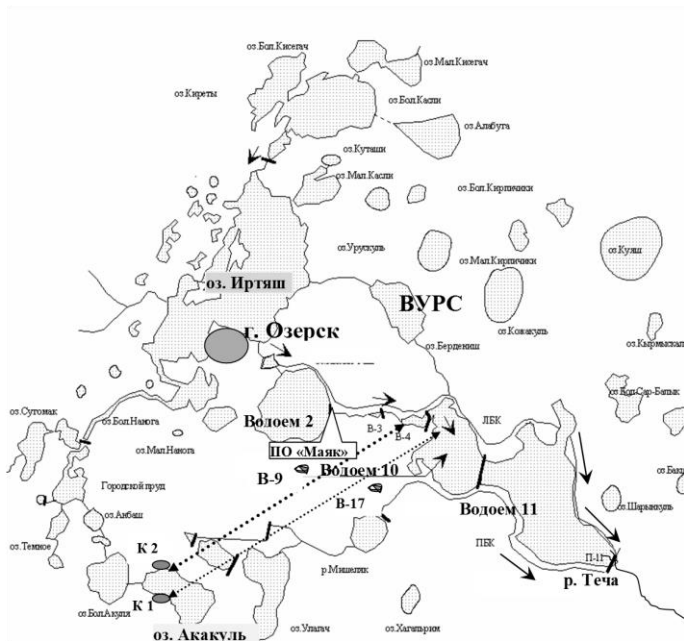
## ABSTRACT

Research findings of the current levels of radioactive contamination of Chiroptera in the Southern Urals are presented in this paper. It was illustrated that bats inhabiting buildings on the shore of the Lake Akakul located at a distance from radioactive sources, accumulate radionuclides at levels by hundreds-thousands times higher than the animals of the control populations. The radionuclide intakes are most likely occurred through food chains from the water bodies used as radioactive waste storage by the Mayak PA, located at a significant distance from the Lake Akakul.

**Ключевые слова:** колонии рукокрылых; оз. Акакуль; ПО «Маяк»; радиоактивное загрязнение.

**Key words:** Chiroptera colonies; Lake Akakul; Mayak Production association (Mayak PA); radioactive contamination.

В 1993 г. дозиметристом-любителем, измерявшим уровень радиационного фона на берегу оз. Акакуль, расположенного южнее ПО «Маяк» вне зоны воздействия предприятия, было обнаружено пятно радиоактивного загрязнения (К 1), Рисунок 1 [7]. Очаги повышенного радиационного фона находились между стенами и внешней обшивкой дома, расположенного на одной из баз отдыха. Специалисты-радиоэкологи, вызванные с Опытной научно-исследовательской станции ПО «Маяк» для определения причин радиоактивного загрязнения строений, установили, что источником радиации являются каловые массы летучих мышей (Chiroptera) и сами животные. Колония животных располагалась на чердаке строения.



#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- К 1 Места базирования колоний рукокрылых
- > Возможные маршруты перелетов
- Направление водотоков

**Рисунок 1. Расположение района исследований относительно производственных водоемов ПО «Маяк»**

После дозиметрического обследования и проведения дезактивационных мероприятий уровень радиоактивного загрязнения строения снизился в сотни и тысячи раз до значений принятых нормативов [7]. В дальнейшем было выявлено еще несколько мест базирования колоний летучих мышей — радиофоров, располагавшихся в постройках на базе отдыха «Волна» и в оздоровительных детских лагерях «Орленок» и «Звездочка» [3, 4, 6].

Летом 2010 г. нами были проведены обследования нескольких колоний летучих мышей — радиофоров, обитающих в строениях

оздоровительного лагеря «Звездочка» на берегу оз. Акакуль (К 2) (см. Рисунок 1). Целью работы являлась оценка современных уровней накопления радионуклидов рукокрылыми.

#### Материалы и методы исследований

Колонии животных выявляли по присутствию помета на стенах зданий, характерному шуму и с помощью ультразвукового детектора Magenta Electronic MR II (Англия). Животных отлавливали ряжевными сетями, которыми перекрывали места вылета летучих мышей из убежища. Животных, отловленных на оз. Акакули (20 животных), усыпляли эфиром, помещали в пластиковый контейнер и хранили в морозильной камере. Тушки мышей озоляли в муфеле при температуре 450 °С. Определение содержания  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  производили радиохимическим и  $\gamma$ -спектрометрическим методами. Концентрацию радионуклида рассчитывали на сырую массу тушки. В качестве контрольной группы мышей использовали животных, отловленных в Природном парке «Олени ручьи», расположенном на расстоянии около 200 км от оз. Акакуль (2 особи) и Смолинской пещеры (7 животных).

#### Результаты и обсуждение

Было установлено, что уровни удельной активности радионуклидов в тушках каждого вида животных из колоний в оздоровительном лагере «Звездочка» варьируют в пределах нескольких порядков величин. В частности, из обследованных восьми особей прудовых ночниц одна содержала  $\sim 10000$  кБк/кг  $^{90}\text{Sr}$  и  $\sim 3000$  кБк/кг  $^{137}\text{Cs}$  при среднем значении этого показателя для всей выборки данного вида 200 и 10 кБк/кг, соответственно. Средняя удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  у прудовой ночницы, двухцветного кожана и северного кожанка из популяций, обитающих на оз. Акакуль, составляла, соответственно,  $201 \pm 74$ ,  $103 \pm 82$  и  $42 \pm 11$  Бк/кг сырой массы по сравнению со значениями удельной активности животных из контрольной популяции  $0,05 \pm 0,02$ ,  $0,19 \pm 0,1$  и  $0,1$  кБк/кг. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в тушках указанных видов составляет, соответственно,  $6,6 \pm 3,3$ ,  $1,3 \pm 0,7$  и  $5,9$  кБк/кг сырой массы животных из опытной популяции против значения  $0,0001$  кБк/кг в контроле. В организме всех исследованных животных  $^{90}\text{Sr}$  накапливается достоверно больше, чем  $^{137}\text{Cs}$ . Последнее отчасти можно объяснить большей экологической подвижностью  $^{90}\text{Sr}$  в природной среде по отношению к  $^{137}\text{Cs}$ . Подобная тенденция отмечалась и ранее [3, 4, 5, 8].

Исследования показали, что ряд строений, расположенных на берегу оз. Акакуль, продолжают заселять колонии мышей — радиофоров. Животные содержат в своих тканях  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в концентрациях, на порядки величин превышающих соответ-

вующие показатели у летучих мышей, обитающих на контрольных территориях. Несмотря на неоднократные дезактивационные мероприятия, летучие мыши вновь заселяли излюбленные убежища. Это, очевидно, связано с приуроченностью рукокрылых к постоянным местообитаниям (инстинкт дома, хоминг), когда животные стремятся занимать одни и те же ранее выбранные обжитые убежища и находят путь к ним, преодолевая значительные расстояния [2]. Вероятно, что источником радионуклидов, поступающих в организм летучих мышей, могла служить вода технологических водоемов ПО «Маяк», загрязненных радионуклидами, и насекомые, часть жизненного цикла которых проходит в указанных водоемах. Во время массовых вылетов насекомых со дна водоемов летучие мыши, используя эхолокацию и слух, ищут их скопления и употребляют в пищу, при этом могут преодолевать расстояния до десяти и более километров.

### Список литературы:

1. Атлас геологических карт на территории зоны наблюдения ФГУП ПО «Маяк». Озерск, 2007. — 106 с.
2. Большаков В.Н., Орлов О.Л., Снитыко В.П. Летучие мыши Урала. Екатеринбург: Академкнига, 2005. — 176 с.
3. Орлов О.Л., Смагин А.И., Тарасов О.В. Исследование зоогенного выноса радионуклидов рукокрылыми // Вопросы радиационной безопасности. — 2005. — № 4. — С. 12—19.
4. Смагин А.И., Тарасов О.В., Любашевский Н.М., Орлов О.Л. Роль рукокрылых в зоогенной миграции радионуклидов // Вопросы радиационной безопасности. — 2000. — № 3. — С. 64—70.
5. Смагин А.И. Экология промышленных водоемов предприятия ядернотопливного цикла на Южном Урале. Озерск: Редакционно-издательский центр ВРБ, 2007. — 190 с.
6. Смагин А.И. Экология водоёмов в зоне техногенной радионуклидной геохимической аномалии на Южном Урале // Издательский центр ЮУрГУ. 2013. — 206 с.
7. Тарасов О.В., Покаржевский А.Д., Мартюшов В.З. Перенос радионуклидов летучими мышами // Биоиндикация радиоактивных загрязнений. М.: Наука, 1998. — С. 347—353.
8. Smagin A.I., Dmitrieva O.L., Orlov O.L., Nevolina I.V. About radionuclide transfer on bats (Chiroptera) in Southern Urals // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>). Выпуск № 1 (41) — февраль 2012. — С. 1—6.

#### 4.4. ВЕТЕРИНАРИЯ

**ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ  
СИНДРОМА ПАЛЬЦЕВЫЙ ДЕРМАТИТ,  
СОПРОВОЖДАЮЩЕГОСЯ РАЗВИТИЕМ  
TREPONEMA-, BORRELIA-, FUSOBAKTERIUM-,  
И ДР. ИНФЕКЦИЙ  
В НЕКОТОРЫХ ХОЗЯЙСТВАХ  
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

***Писаренко Виктор Федорович***

*аспирант, кафедра инфекционной и инвазионной патологии,  
ФГБОУ ВПО Белгородская государственная  
с/х академия им. В.Я. Горина,  
г. Белгород  
E-mail: [pvf@mail.ru](mailto:pvf@mail.ru)*

***Левицкая Инна Леонидовна***

*аспирант, кафедра инфекционной и инвазионной патологии,  
ФГБОУ ВПО Белгородская государственная  
с/х академия им. В.Я. Горина,  
г. Белгород*

***Коваленко Анатолий Михайлович***

*д-р ветеринар. наук, профессор,  
кафедра инфекционной и инвазионной патологии, ФГБОУ ВПО  
Белгородская государственная с/х академия им. В.Я. Горина,  
г. Белгород*



**STUDY OF SEASONAL DYNAMICS OF DIGITAL  
DERMATITIS SYNDROME ACCOMPANIED  
BY PROGRESSION OF TREPONEMA-, BORRELIA-,  
FUSOBAKTERIUM-, AND OTHER INFECTIONS  
IN SOME ESTATIONS OF BELGOROD REGION**

***Viktor Pisarenko***

*postgraduate student, Chair of the Infectious and Parasitic Pathology,  
FSBEI HPE Belgorod State Agricultural Academy named after V. Gorin,  
Belgorod*

***Inna Levitskaya***

*postgraduate student, Chair of the Infectious and Parasitic Pathology,  
FSBEI HPE Belgorod State Agricultural Academy named after V. Gorin,  
Belgorod*

***Anatoliy Kovalenko***

*doctor of Veterinary Science, professor, Chair of the Infectious and  
Parasitic Pathology, FSBEI HPE Belgorod State Agricultural Academy  
named after V. Gorin,  
Belgorod*

**АННОТАЦИЯ**

В результате проведенных исследований на поголовье дойных коров (n = 884) в период с февраля по август 2013 года было установлено повышение заболеваемости ПД в теплый сезон года по сравнению с холодным на 64,4 %, которая была наивысшей среди первотелок, коров, находившихся на третьей трети лактации и у животных со среднесуточной продуктивностью 20—30 литров.

**ABSTRACT**

As a result of research on dairy cattle herd (n = 884) during the period from February to August of 2013 it has been understood that prevalence of digital dermatitis is higher in a warm year season in comparison with a cold one for 64,4%. The highest DD prevalence was among first calvers, cows at the last third of lactation and cows with daily milk yield of 20-30 litres.

**Ключевые слова:** Трепонема; пальцевый дерматит (Dermatitis Digitalis); сезонность; хромота; КРС.

**Keywords:** Treponema; digital dermatitis (Dermatitis Digitalis); seasonality; Lameness; dairy cattle.

**Сокращения:** ПД — *пальцевый дерматит*, ОЭ — *обменная энергия*

### **Введение**

Пальцевый дерматит (ПД) (лат. Dermatitis Digitalis) — заболевание, впервые описанное в 1974 году в Италии исследователями Cheli и Mortellaro, в наши дни приобрело повсеместное распространение. Особенно часто данное заболевание встречается в странах с интенсивным ведением молочного животноводства и экспортом-импортом скота. Данное заболевание не входит в список опасных, тем не менее, способно поражать большой процент животных в стаде, особенно при наличии способствующих условий, чем причиняет колоссальный экономический ущерб мировому скотоводству. Способствующими факторами для возникновения ПД является низкий уровень гигиены в коровниках, несбалансированное кормление, являющиеся причиной развития ацидоза, микроэлементозов и т. д., а так же снижение сопротивляемости организма вследствие стресса [7, 8]

ПД встречается в основном на задних конечностях, локализуясь на своде межкопытцевой щели на уровне пяточной части, а также в межкопытцевой щели. Иногда ПД локализуется в нетипичных местах, таких как кожа дистального отдела конечностей и вымя [7, 13]. Внешне ПД поражения имеют вид округлых, вогнутых язв с гладкой или мелкозернистой поверхностью, красного цвета, диаметром 0,5—8 см, напоминающие поверхность клубники. При хроническом течении ПД поражения заполняются пролиферативной тканью в виде тонких волосков. В большинстве случаев заболевания наблюдается отросшая шерсть вокруг поврежденного участка, а так же характерный запах. Заболевание часто сопровождается хромотой различной степени тяжести [4, 13].

В месте локализации инфекционного процесса, по мнению многих авторов, имеет место развитие смешанных инфекций, где присутствуют Treponema-, Borrelia-, Fusobakterium necrophorum-, Porphyromonas levii-, Prevotella denticola-, Prevotella bivia- инфекции, а так же другие микроорганизмы семейства спирохет, роль которых еще не до конца выяснена **Ошибка! Источник ссылки не найден.**[10].

Дифференцировать инфекции пальцевого дерматита необходимо от межпальцевого дерматита, ящура, мокреца, вирусной диареи [10, 4].

Лечение данного заболевания включает в себя как индивидуальные, так и групповые методы. При лечении групповым методом применяют копытные ванны, которые заполняют растворами антибиотиков, медного купороса, формалина и т. д., что так же может применяться для профилактики возникновения ПД. В качестве индивидуального лечения применяют аэрозоли, мази и пасты, а так же хирургическое лечение. У каждого способа есть свои преимущества и недостатки; их эффективность зависит от множества факторов [6, 5].

Данные по заболеваемости ПД в разных странах сильно разнятся, составляя от нескольких до 70 %, причем уровень пораженности внутри стада варьирует от 0 % до 83 % [13]. Многие авторы уделяют большое внимание изучению факторов, способствующих развитию ПД, но, тем не менее, в литературе встречаются нечастые упоминания о сезонности заболевания и его зависимости от температурного стресса.

#### **Цель исследования**

Изучить сезонную динамику *Treponema*-, *Borrelia*-, *Fusobakterium*-, и др. инфекций, сопровождающихся развитием синдрома пальцевый дерматит, в некоторых хозяйствах Белгородской области.

#### **Материалы и методы**

В опыт брали поголовье дойного стада (n = 884) ООО «Нива», Прохоровского района, Белгородской области, который проводили охватывая холодный и теплый сезон года (с февраля по август 2013 года). Учитывали ретроспективные эпизоотологические данные по распространенности *Treponema*-, *Borrelia*-, *Fusobakterium*-, и др. инфекций, сопровождающихся развитием синдрома пальцевый дерматит и проспективные (собственные) данные по распространенности ПД в данном хозяйстве. При этом использовали методику Dörfer, 1997 [9] для классификации стадий ПД, согласно которой М1 — изменения малого размера с красной или бело-красной поверхностью, возможна экссудация. Эпителий может быть сохранен или поврежден; М2 — «классическое изъязвление», красные или бело-красные поражения диаметром более 1 см. На поверхности поражения грануляционная или пролиферативная ткань (в большом количестве или филаментарно); М3 — заживающие поражения с черной

струпьевидной поверхностью; М4 — изменения кожи вызывающие подозрение на ПД, а так же хроническая пролиферативная форма.

Для выделения возбудителей инфекций, вызывающих развитие ПД, было отобрано 8 биоптатов непосредственно в хозяйстве и при сдаче коров с ПД на мясокомбинат. Выделение возбудителей и их типизация проводились согласно методикам Костенко, 2001, Сидоров, 1995 [1, 3].

Полученные результаты обработаны с помощью методов вариационной статистики [1].

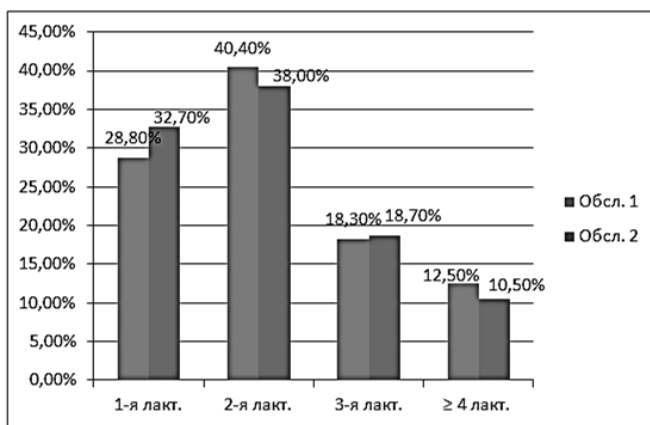
### **Результаты и обсуждение**

Сезонную динамику по заболеваемости *Treponema*-, *Borrelia*-, *Fusobacterium*-, и др. инфекциями, сопровождающихся развитием синдрома пальцевый дерматит, изучали на коровах при беспривязном содержании на бетонных полах. Среднегодовая молочная продуктивность коров составляла 6400 кг. Кормление осуществлялось 2 раза в день смешанным рационом, в состав которого входил кукурузный силос, травяной сенаж, сено разнотравное, концентрированный корм, доля которого по ОЭ составляла до 45 %. Среди поголовья молочного стада так же регистрировались инфекционной этиологии эндометриты, маститы, а так же ламиниты, язвы Рустерхольца, бурситы и др.. 54 % животных дойного стада имели устойчивый синдром хромоты.

За время проведения исследований количество пораженных коров выросло со 104 голов до 171, что значит увеличение на 64,4 %. В процентном соотношении увеличение доли пораженных составляло 21,3 % против 11,7 % в начале исследований. Так же резко увеличилось количество животных с обеими задними пораженными конечностями 21,6 % против 1,9 %. Рассматривая изменения количества пораженных голов с учетом стадии ПД необходимо отметить, что коров с начальной стадией М1 прибавилось на 26 голов (+12,2 %), с выраженной стадией М2 — 33 головы (+14,8 %), с хронической стадией М4 — 44 головы (+11,7 %), в то время как количество коров с заживающей стадией М3 сократилось на 24 головы (-37,7 %).

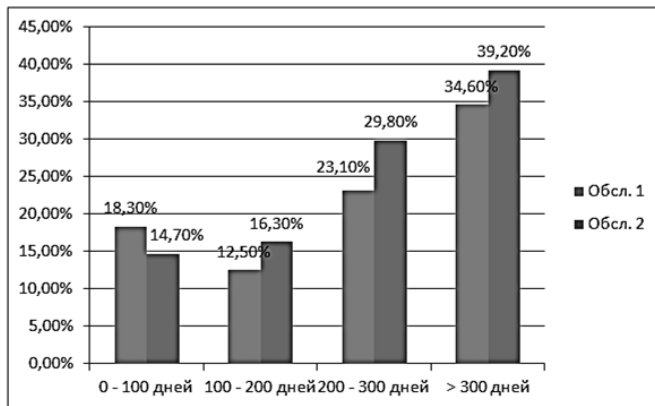
Проведенный анализ изменения количества пораженных коров ПД в зависимости от количества лактаций показал незначительное увеличение таковых на первой и третьей лактациях и незначительное снижение на второй и четвертой и последующих (рис. 1). Причем максимальное увеличение на первой лактации произошло за счет животных, пораженных стадией ПД М2 (+14 голов, 20,3 %), на второй лактации — среди коров, пораженных стадией М4 (+16 голов, 17,9 %), на третьей лактации не наблюдалось какой-либо существенной

повышательной динамики, а на четвертой и последующих лактациях существенное увеличение произошло за счет пораженных М1 (+8 голов, 44,4 %). Снижение общей доли пораженных животных на второй лактации произошло из-за сокращения количества животных с М3 (-7 голов, -31 %), а на четвертой — из-за М3 (-1 голова, -22,6 %) и М4 (-3 головы, -27,4 %).



**Рисунок 1. Изменение количества пораженных ПД голов в зависимости от количества лактаций**

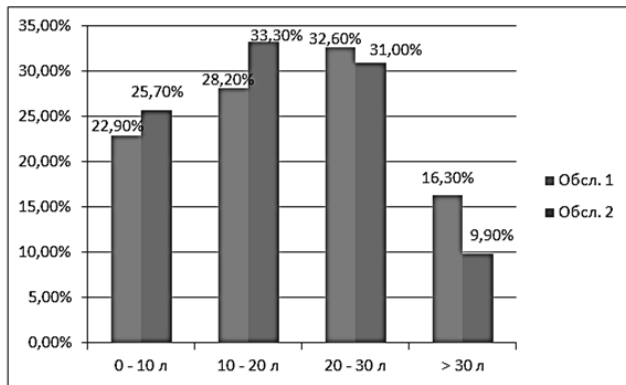
Анализируя данные по изменению количества пораженных голов в зависимости от стадии лактации, можно отметить незначительное снижение их доли в первой трети лактации и увеличение во всех последующих в пределах 5 % (рис. 2).



**Рисунок 2. Изменение количества пораженных ПД голов в зависимости от стадии лактации**

Не смотря на общее понижение доли пораженных животных, которое произошло за счет стадии М3 (–1 голова, –14,1 %) и стадии М4 (–1 голова, –12,8 %), все же количество животных с М1 (+6 голов, 20,2 %) и М2 (+2 головы, 11,5 %) возросло. В средней трети лактации повышение произошло за счет равного увеличения долей животных с М1 и М2 (+8 голов, 28,6 %), в то время как количество голов с М4 снизилось на 2 головы (–31,8 %). В третьей трети лактации произошло повышение количества голов со стадиями М1, М2, М4 в пределах 18 %, на ряду с существенным сокращением стадии М3 (–7 голов, –51,3 %). На стадии лактации более 300 дней наблюдалась незначительная повышательная динамика количества голов, пораженных всеми стадиями ПД.

Изучая данные по изменению количества голов, пораженных ПД, в зависимости от среднесуточной продуктивности можно отметить незначительное повышение в группах 0—10 литров и 10—20 литров, и снижение в более высокопродуктивных группах (рис. 3).



**Рисунок 3. Изменение количества пораженных ПД голов в зависимости от среднесуточной продуктивности**

Повышение в группе с продуктивностью 0—10 литров произошло в основном за счет животных, пораженных стадией М1 (+10 голов, 22,7 %), не смотря на то, что сократилась доля голов с М3 (-27,3 %). В группе с продуктивностью 10—20 литров увеличилось количество голов с М1 стадией (+13 голов, 16,6 %) с одновременным понижением доли голов с М4 (-20,2%). В группе с продуктивностью 20—30 литров повышательный акцент сместился на стадии М2 (+14 голов, 23,5 %) и М4 (+15 голов, 18,2 %), но при этом наблюдалось существенное снижение количества голов со стадией М3 (-10 голов, -46,3 %). В самой высокопродуктивной группе так же наибольшее повышение количества животных коснулось пораженных М2 (+4 головы, +22,7 %).

Во время заключительного обследования поголовья было выявлено 25 голов, ПД у которых наблюдался еще во время начала исследований, что значит, что ПД у них протекал как минимум 6 месяцев. При этом наблюдался переход различных стадий ПД друг в друга. Из 25 голов, у одной головы наблюдался переход со стадии М1 в М2 и у одной головы со стадии М2 в М4. Наиболее частой стадией, которая встречалась у данной группы, является стадия М3 (15 голов, 60,0 %), среди которых у 4-х голов (26,7 %) стадия заболевания осталась на том же уровне (хотя здесь не исключено, что за такой длительный срок произошло полное заживление, а затем повторное возникновение ПД с повторным появлением стадии М3), у 2-х голов (13,3 %) стадия изменилась на М1, у 4-х (26,7 %) — на М2 и у 5 голов (33,3 %) — на М4. Из 9-ти голов со стадией ПД М4, у 6-ти

голов (66,7 %) стадия осталась неизменной и у 3-х голов (33,3 %) стадия изменилась на МЗ. Кроме того, у 6-ти голов, у которых во время первого обследования была поражена одна конечность, во время второго обследования наблюдалось поражение обеих задних конечностей, среди которых у 5-ти голов наблюдалась стадия ПД М4.

Во время проведения исследований клинические случаи ПД были подтверждены микробиологическими исследованиями. В результате были выявлены микроорганизмы, относящиеся к роду *Treponema* в 7 пробах (87,5 % случаев), род *Borrelia* — 5 проб (62,5 %), *Fusobacterium necrophorum* — 4 пробы (50 %), род *Pasteurella* — 3 пробы (37,5 %), род *Bacteroides* — 3 пробы (37,5 %), род *Clostridium* — 3 пробы (37,5 %). Полученные результаты схожи с данными выделяемости возбудителей из участков поражения ПД некоторых авторов [11], что подтверждает важную роль спирохет в этиопатогенезе ПД.

### **Выводы**

Полученные данные свидетельствуют об увеличении пораженности *Treponema*-, *Borrelia*-, *Fusobacterium*-, и др. инфекциями, сопровождающимися развитием синдрома ПД, в хозяйстве на 64,4 % под действием сезонных факторов. Максимальное увеличение пораженных ПД голов коснулось таковых со стадиями М2 (14,8 %) и М1 (12,2 %), а так же первотелок и коров, находившихся на третьей трети лактации и молочной продуктивностью 20—30 литров в сутки.

### **Список литературы:**

1. Костенко Т.С. Практикум по ветеринарной иммунологии и микробиологии / Т.С. Костенко, В.Б. Родионова, Д.И. Скородумов. М.: Колос, 2001. — 344 с.
2. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. — 230 с.
3. Сидоров М.А. Определитель зоопатогенных микроорганизмов / М.А. Сидоров, Д.И. Скородумов, В.Б. Федотов. М.: Колос, 1995. — 319 с.
4. Blowey R.W. Digital dermatitis control. / *Vet. Rec.* — 1990, — V. 126. — P. 120.
5. Blowey R.W., Sharp M.W. Digital dermatitis in dairy cattle. / *Vet. Rec.* — 1988, — V. 122. — P. 505—508.
6. Brentrup H., Adams W. Klinische Aspekte der Dermatitis digitalis beim Rind. / *Tierärztl. Umschau.* — 1990, — № 45. — S. 311—316.
7. Cheli R., Mortellaro C.M. La dermatite digitale del bovino. *Proc. 8th International Conference on Diseases of Cattle.* / Milan, Italy. 1974, — P. 208—213.



8. Chrank D., Gruner J. Dermatitis digitalis (Foot-rot) beim Rind. / Mh. Vet. Med. — 1989, — № 44. — S. 104—106.
9. Döpfer D., A. Koopmans, F.A. Meijer, I. Szakall, Y.H. Schukken, W. Klee, R.B. Bosma, J.L. Cornelisse, A.J.A.M. Van Asten u. A.A.H.M. Ter Huurne. Histological and bacteriological evaluation of digital dermatitis in cattle, with special reference to spirochaetes and Campylobacter faecalis. / Vet. Rec. — 1997, — V. 140, — P. 620—623.
10. Döpfer D., Willemen M. Standardisation of infectious claw diseases (Workshop report). / Proc. 10th International Symposium on Lameness in Ruminants. Lucerne, Switzerland. 1998, — P. 244—264.
11. Evans Nicholas J., Jennifer M. Brown, Ibrahim Demirkan, Richard Birtles, Anthony Hart C., Stuart D. Carter In vitro susceptibility of bovine digital dermatitis associated spirochaetes to antimicrobial agents. / Veterinary Microbiology. — 2009, — V. 136. — P. 115—120.
12. Holzhauser M., Hardenberg C., Bartels C.J.M., Frankena K. Herd- and Cow-Level Prevalence of Digital Dermatitis in The Netherlands and Associated Risk Factors. / American Dairy Science Association. J. Dairy Sci. — 2006, — V. 89, — P. 580—588.
13. Read D.H., Walker R.L. Papillomatous digital dermatitis and associated lesions of dairy cattle in California: pathologic findings. / Proc. 8th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit. Banff, Canada. 1994, — P. 156—158.

## **СЕКЦИЯ 5.**

### **ХИМИЯ**

#### **5.1. БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

#### **КОМПЛЕКСНОЕ ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ JUNIPERUS SABINA L. ИЗ КАЗАХСТАНА**

*Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы*

*канд. хим. наук, PhD, директор института прикладной химии,  
доцент кафедры химии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
г. Астана, Казахстан*

*E-mail: [syerlan75@yandex.kz](mailto:syerlan75@yandex.kz)*

***Ишмуратова Маргарита Юлаевна***

*канд. биол. наук, доцент кафедры фармацевтических дисциплин  
Карагандинского университета «Болашак»,  
г. Караганда, Казахстан*

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

***Искакова Жанар Бактыбаевна***

*канд. хим. наук, старший научный сотрудник  
института прикладной химии, доцент кафедры  
Казахского университета технологии и бизнеса,  
г. Астана, Казахстан*

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

# COMPREHENSIVE PHYTOCHEMICAL STUDY OF JUNIPERUS SABINA L. FROM KAZAKHSTAN

**Suleimen Yerlan Melsuly**

*candidate of Chem. Science, PhD, Director of the Institute of Applied Chemistry ENU, Associate Professor of Chemistry Department of L.N. Gumilev ENU, Astana, Kazakhstan*

**Ishmuratova Margarita Yulaevna**

*candidate of biol. Sciences, assistant Professor of Pharmaceutical Sciences Karaganda University "Bolashak", Karaganda, Kazakhstan*

**Искакова Жанар Бактыбаевна**

*candidate of Chem. Science, Senior Researcher of the Institute of Applied Chemistry ENU, Associate Professor of Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan*

*Работа выполнена по гранту МОН РК по бюджетным программам 055 «Фундаментальные и прикладные научные исследования» по теме «Фитохимическое изучение растений Казахстана и Сибири. Создание модифицированных производных на основе моно- и сесквитерпеноидов, флаваноидов и их биоскрининг» и «Создание образцов продукции под брендом «Ароматы степей Казахстана». Авторы благодарят Ш. Хан, Б. Теквани и М. Джакоб (университет Миссиссипи, США) за помощь в исследовании биоактивности (грант USDA Agricultural Research Service Specific Cooperative Agreement).*

## АННОТАЦИЯ

Проведено изучение антигрибковой, антимикробной, антилейшманиозной, антималярийной и цитотоксической активности эфирного масла *Juniperus Sabina* L., определен микроэлементный состав растительного сырья и изучено анатомическое строение.

## ABSTRACT

The study of antifungal, antimicrobial, antileishmanial, antimalarial and cytotoxic activity of essential oils *Juniperus sabina* L., definition of microelement composition and anatomy structure of plant material was done.

**Ключевые слова:** антигрибковая; антимикробная; антилейшманиозная; антималярийная и цитотоксическая активность; эфирное масло; микроэлементный состав; анатомическое строение; *Juniperus sabina* L.

**Keywords:** antifungal; antimicrobial; antileishmanial; antimalarial and cytotoxic activity; essential oils; microelement composition; anatomy; *Juniperus sabina* L.

*Juniperus Sabina* L. (можжевельник казацкий) — двудомный стелющийся кустарник высотой 1—1,5 м. Быстро разрастается в ширину и образует плотные заросли. Распространен на Кавказе, Урале, Сибири, Приморье, Южной и Центральной Европе. Произрастает в Центральном и Северном Казахстане в гористой местности [7].

Ранее был изучен состав эфирного масла [8—9], в том числе и нами масло из Казахстана [17].

Экстракт *J. sabina* обладает противоопухолевым эффектом, превосходящим противоопухолевую активность экстракта тисового дерева *Taxus baccata* [15].

Эфирное масло *J. sabina* обладает выраженным абортивным эффектом [11, 13—14], антимикробной [9] и антиоксидантной активностью [10, 12].

В связи с тем, что эфирное масло данного растения представляет интерес с точки зрения его биоактивности мы провели изучение его антигрибковой, антимикробной, антилейшманиозной, антималярийной и цитотоксической активности.

Сырье *J. sabina* собирали в июне 2011 г. в Павлодарской области с. Баянаул (лагерь «Кристалл») Республики Казахстан. Эфирное масло получали методом гидродистилляции на аппарате Клевенджера в течение 2-х часов [2]. Выход масла составил 1,5—1,9 %.

На антимикробную активность проверяли образцы эфирных масел, их способность ингибировать рост из 5 бактерий и 5 грибов, патогенных для человека.

Вначале испытывали в первичном скрининге на 50 мкг/мл дважды и процент ингибирования роста (% инг.) рассчитывался по отношению к отрицательному и положительному контролю. Эфирные масла показывающие  $\geq 50\%$  ингибирования направляли на вторичный скрининг.

Во вторичном скрининге образцы растворяли в 20 мг/мл и проверяли при 50, 10 и 2 мкг/мл и  $IC_{50S}$  против всех 10 штаммов микроорганизмов. Образцы растворяли в 2 mg/mL и проводили

испытания на 20, 4, 0,8 мкг/мл и IC<sub>50</sub>s против всех 10 штаммов микроорганизмов. Чистые соединения, которые имеют IC<sub>50</sub> ≤ 7 мкг/мл на вторичном скрининге направляли на третичный скрининг.

В третичном скрининге чистые соединения проверены против всех 10 микробов в 20, 10, 5,0, ... 0,02 мкг/мл и рассчитывали IC<sub>50</sub>s. В дополнение к IC<sub>50</sub> проводили расчет MIC (минимальная ингибирующая концентрация), и либо MFC или МБК (минимальная фунгицидная или бактерицидная концентрация, соответственно). MIC является самой низкой тест концентрацией (в мкг/мл), который подавляет в организме 100 %. MFC или МВС является самой низкой тест-концентрацией (в мкг/мл), которая убивает организм. Чистые соединения могут иметь MIC, при которой клетки могут быть еще живы, но без роста. MFC и МВС является показателем способности образца уничтожить испытуемый образец.

В качестве контроля как противогрибкового препарата использовали амфотерицин В и как антибактериальный препарат — ципрофлоксацин.

Как видно из таблицы 1, эфирное масло *J. sabina* оказывает слабовыраженную активность лишь в отношении штаммов *Candida neoformans*.

**Таблица 1.**

**Антигрибковая и антимикробная активность эфирного масла *J. sabina* L.**

Образец	% Ингибирования										
	<i>C. albicans</i>	<i>C. glabrata</i>	<i>C. krusei</i>	<i>A. fumigatus</i>	<i>C. neoformans</i>	<i>S. aureus</i>	MRS	<i>E. coli</i>	<i>M. intracellulare</i>	<i>P. aeruginosa</i>	Концентрация (мкг/мл)
Амфотерицин В	95	100	100	99	100	ND	ND	ND	ND	ND	5
Ципрофлоксацин	ND	ND	ND	ND	ND	74	76	100	66	100	1
Эфирное масло <i>J. sabina</i>	3	0	0	8	36	1	0	0	10	7	50

Полученные данные не согласуются с литературными [9]: согласно ним минимальная ингибирующая концентрация для штаммов *C. albicans*, *S. aureus* и *E. coli* составила 3,125 и против штамма

*S. aureus* — 6,25 мг/мл, что связано, видимо, с различием в составе эфирного масла.

Антилейшманиозную активность образцов определяли по способности ингибировать *Leishmania donovani*, простейшего мухи, которое вызывает висцеральный лейшманиоз.

#### Первичный скрининг.

Экстракты изначально тестировали *Leishmania donovani* в первичном скрининге дважды при 80 мкг/мл, и процент ингибирования (% инг.) рассчитывали по отношению к отрицательному и положительному контролю. Извлечение, показывающее  $\geq 50$  % ингибирования, изучали на вторичном скрининге.

Вторичный скрининг. Все образцы тестировали при 40, 8,0 и 1,6 мкг/мл и  $IC_{50}$ s а также  $IC_{90}$ s (тест концентрациях, что дает 50 и 90 % ингибирования относительно простейших с контрольной группой, соответственно). Образцы, которые имели  $IC_{50} < 1,6$  мкг/мл на вторичном скрининге антилейшманиозной активности, передавали на третичный анализ. Все  $IC_{50}$ s и  $IC_{90}$ s рассчитывали с использованием программного обеспечения XLfit.

Третичный скрининг. Образцы повторно тестировали на 40, 8, 1,6, 0,32, 0,064, 0,0128 мкг/мл и  $IC_{50}$ s и  $IC_{90}$ s пересчитывали снова. Все  $IC_{50}$ s и  $IC_{90}$ s рассчитывали с использованием программного обеспечения XLfit.

В результате испытаний установлено, что эфирное масло *J. sabina* в отношении *L. donovani* в исследуемых дозировках не обладает антилейшманиозной активностью.

**Таблица 2.**

#### **Антилейшманиозная активность эфирного масла *J. sabina* L. (первичный скрининг)**

Образец	Концентрация (мкг/мл)	% ингибирования <i>L. donovani</i>
Эфирное масло <i>J. sabina</i>	80	98

Контрольный препарат	% ингибирования	$IC_{50}$ (уг/мл)*	$IC_{90}$ (уг/мл)**
Амфортерицин В	99	0,18	0,32
Пентамидин	NT	1,50	2,27

\*Концентрация (mg/мл) приводящая к 50 % ингибированию роста

\*\* Концентрация (mg/мл) приводящая к 90 % ингибированию роста

Таблица 3.

**Антилейшманиозная активность эфирного масла *J. sabina* L.  
(вторичный скрининг)**

Образец	Концентрация (мкг/мл)	IC50 (µg/мл)	IC90 (µg/мл)
Эфирное масло <i>J. sabina</i>	40, 8, 1.6	16,58	>40
Амфортерицин В		0,18	0,32
Пентамидин		1,50	2,27

Изучение антималярийной активности проводили по методике описанной нами в [12].

Как видно из таблицы 4, эфирное масло *J. sabina* оказывает слабовыраженную активность в отношении *Plasmodium falciparum* D6.

Таблица 4.

**Антималярийная активность эфирного масла *J. sabina* L.**

Образец	<i>P. falciparum</i> D6 % Inh.
Хлорохин	97
Эфирное масло <i>J. sabina</i>	48

Изучение цитотоксической активности проводили по методике описанной нами в [16].

На основании проведенного эксперимента можно предположить, что эфирное масло *J. sabina* во всех испытанных концентрациях проявляют острую летальную токсичность — все личинки погибают (таблицы 5—7), что согласуется с литературными данными [15].

Таблица 5.

**Цитотоксическая активность эфирного масла *J. sabina* 10 мг/мл**

Параллель	К-во личинок в контроле		К-во личинок в образце			% выживших личинок в контроле	% выживших личинок в образце	Смертность, А,%	Наличие нейротоксичности, %
	выж.	погиб.	выж.	погиб.	пар.				
1	20	2	0	21	0	95	0	95	0
2	21	1	0	20	0				
3	22	0	0	22	0				
Ср	21	1	0	21	0				

Таблица 6.

Цитотоксическая активность эфирного масла *J. sabina* 5 мг/мл

Парал- лель	К-во личинок в контроле		К-во личинок в образце			% выживших личинок в контроле	% выживших личинок в образце	Смертность, А,%	Наличие нейротоксичности, %
	выж.	погиб.	выж.	погиб.	пар.				
1	20	2	0	25	0	95	0	95	0
2	21	1	0	21	0				
3	22	0	0	28	0				
Ср	21	1	0	25	0				

Таблица 7.

Цитотоксическая активность эфирного масла *J. sabina* 1 мг/мл

Парал- лель	К-во личинок в контроле		К-во личинок в образце			% выживших личинок в контроле	% выживших личинок в образце	Смертность, А,%	Наличие нейротоксичности, %
	выж.	погиб.	выж.	погиб.	пар.				
1	20	2	0	20	0	95	0	95	0
2	21	1	0	24	0				
3	22	0	0	21	0				
Ср	21	1	0	22	0				

Для получения данных по доброкачественности растительного сырья было проведено изучение его микроэлементного состава. Сырье *J. sabina* собирали в июне 2011 г. в Павлодарской области с. Баянаул (лагерь «Кристалл») Республики Казахстан.

Проведено сухое озоление сырья *J. sabina*. Содержание микроэлементов определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на приборе ICP-AES и в результате которого получены количественные данные о 43 обнаруженных элементах.



Таблица 8.

Элементный состав золы *J. sabina* L.

№	Элемент	Символы	Содержание (мг/кг)	№	Элемент	Символы	Содержание (мг/кг)
1	Гафний	Hf	9,57	23	Олово	Sn	<0,1
2	Индий	In	<0,01	24	Ванадий	V	99,56
3	Уран	U	<0,01	25	Церий	Ce	71,72
4	Тантал	Ta	<0,01	26	Литий	Li	12,00
5	Галлий	Ga	<0,01	27	Лантан	La	1,31
6	Скандий	Sc	<0,01	28	Кадмий	Cd	5,69
7	Фосфор	P	10495,63	29	Медь	Cu	426,48
8	Сурьма	Sb	<0,1	30	Иттербий	Yb	0,97
9	Марганец	Mn	1246,36	31	Иттрий	Y	5,83
10	Свинец	Pb	73,57	32	Цинк	Zn	303,16
11	Титан	Ti	374,44	33	Серебро	Ag	<0,1
12	Цирконий	Zr	62,88	34	Кобальт	Co	10,33
13	Мышьяк	As	<0,1	35	Стронций	Sr	958,70
14	Вольфрам	W	<0,1	36	Золото	Au	<100
15	Хром	Cr	52,77	37	Таллий	Tl	<0,1
16	Никель	Ni	42,03	38	Железо	Fe	2664,72
17	Германий	Ge	<0,01	39	Платина	Pt	<10
18	Висмут	Bi	<0,1	40	Торий	Th	<0,1
19	Барий	Ba	2084,06	41	Теллур	Te	<0,1
20	Бериллий	Be	0,97	42	Бор	B	143,88
21	Ниобий	Nb	27,27	43	Алюминий	Al	11239,07
22	Молибден	Mo	6,05				

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья (уточнения локализации эфирного масла в надземных органах) *J. sabina*, мы провели изучение его анатомического строения.

**Материалы и методы.** Заготовку сырья *J. sabina* проводили в 2—3 декадах августа в фазе плодоношения в горах Улытау (Улытауский район, Карагандинская область, Республика Казахстан).

Исследовались листья (хвоя) *J. sabina*. Воздушно-сухое сырье размачивали в горячей воде и размягчали в смеси глицерин-спирт-вода дистиллированная в соотношении 1:1:1 [3, 6], кипятили в 5 %-ном водном растворе гидроксида калия. Изготавливали поверхностные препараты и срезы вручную. Рисунки выполняли при помощи аппарата РА-4М. При описании анатомического строения использовали принципы, изложенные в трудах В.Н. Вехова, Л.И. Лотовой [1, 5].

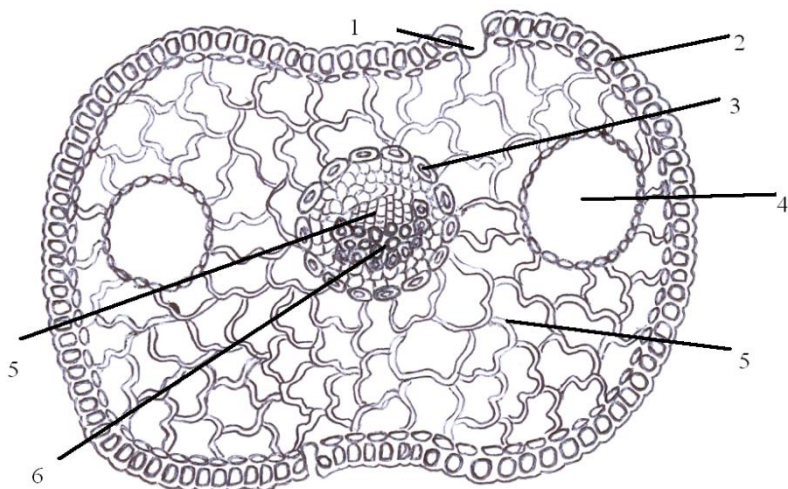
Анатомическое строение. На поперечном срезе лист имеет овальное строение. Клетки эпидермиса состоят из 1 слоя клеток. Эпидерма покрыта толстым слоем кутикулы. Клетки эпидермы в сечении почти квадратной формы. Все стенки сильно утолщены, в углах имеются поровые каналы. Полость клетки округлая. В углублениях на уровне гиподермы расположены устьица, под которыми имеется большая воздушная полость. У старых листьев стенки клеток эпидермы одревесневают.

Под эпидермой находится *мезофилл*, состоящий из однородных клеток, стенки которых образуют складчатую структуру. Это значительно увеличивает площадь прилегающего к стенке слоя цитоплазмы с хлоропластами, а, следовательно, и ассимилирующую поверхность. В каждой клетке видно ядро.

*Смоляные ходы*, пронизывающие складчатую паренхиму, внутри выстланы тонкостенными клетками, выделяющими внутрь смолу, а снаружи имеют обкладку из толстостенных клеток.

На радиальных стенках клеток эндодермы имеются одревесневающие утолщения — пояски Каспари.

*Проводящие пучки* коллатерального типа. Ксилемная часть обращена к плоской стороне листа, флоэмная — к выпуклой. Следовательно, плоская сторона хвои является морфологически верхней, а выпуклая — нижней. Между проводящими пучками расположена механическая ткань — *склеренхима*. Остальное пространство центральной части занято толстостенными паренхимными клетками.



**Рисунок 1. Поперечный срез листа *J. Sabina*: 1 — эпидермис, 2 — устьице, 3 — эндодерма, 4 — смоляной ход, 5 — мезофилл, 5 — флоэма, 6 — ксилема**

Таким образом, нами проведено изучение антигрибковой, антимикробной, антилейшманиозной, антималярийной и цитотоксической активности эфирного масла *J. sabina* L., определен микроэлементный состав растительного сырья и изучено анатомическое строение.

### Список литературы:

1. Вехов В.Н., Лотова Л.И., Филин В.Р. Практикум по анатомии и морфологии высших растений. М.: МГУ, 1980. — 560 с.
2. Государственная Фармакопея СССР. Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье МЗ СССР. 11-е изд. М., 1990. — 400 с.
3. Долгова А.А., Ладыгина Е.Я. Руководство к практическим занятиям по фармакогнозии. М.: Медицина, 1977. — 255 с.
4. Киханова Ж.С., Исакова Ж.Б., Джалмаханбетова Р.И., Сейлханов Т.М., Ross S.A., Сулеймен Е.М. Компоненты *Artemisia austriaca* Jacq. И их биологическая активность // Химия природ. соедин. — 2013. — № 5. — Р. 826—827.
5. Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: КомКнига, 2007. — 512 с.
6. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высшая школа, 1960. — 206 с.

7. Флора Казахстана. Т. 7. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1964. — 496 с.
8. Adams R.P., Nguyen S., Liu J. Geographic Variation in the Leaf Essential Oils of *Juniperus sabina* L. and *J. sabina* var. *arenaria* (E.H. Wilson) Farjon // *Journal of Essential Oil Research*. — 2006. — № 18 (5). — P. 497—502.
9. Asili J., Emami S.A., Rahimizadeh M., Fazly-Bazzaz B.S., Hassanzadeh M.K. Chemical and Antimicrobial Studies of *Juniperus sabina* L. and *Juniperus foetidissima* Willd. Essential Oils // *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. — 2010. — № 13 (1). — P. 25—36.
10. Doosti F., Bagherpasand N., Zolfagharian F., Sarabandi S., Emami S., Hassanzadeh Khayyat M. Investigation of antioxidant activity of the essential oils of different parts of *Juniperus sabina* (Cupressaceae) by TBARS method in comparison with vitamin E // *Research in Pharmaceutical Sciences*. — 2012. — № 7(5). — S. 798.
11. Dweck A.C. Toxicology of essential oils reviewed // *Personal Care*. 2009. — P. 65—77.
12. Emami S.A., Shahidi N.H., Hassanzadeh-Khayyat M. Antioxidant activity of the essential oils of different parts of *Juniperus sabina* L. and *Juniperus foetidissima* Willd. (Cupressaceae) // *International Journal of Essential Oil Therapeutics*. — 2002. — № 3(4). — P. 363—370.
13. Pages N., Fournier G., Baduel C., Tur N., Rusnac M. Sabinyl Acetate, the Main Component of *Juniperus Sabina* L. Essential Oil, is Responsible for Antiimplantation Effect // *Phytotherapy Research*. — 1996. — № 10 (5). — P. 438—440.
14. Pages N., Fournier G., Chamorro G., Salazar M., Paris M., Boudene C. Teratological evaluation of *Juniperus sabina* essential oil in mice // *Planta Med*. — 1989. — № 55 (2). — P. 144—146.
15. Shokrzadeh M., Azadbakht M., Ahangar N., Naderi H., Saeedi Saravi S.S. Comparison of the cytotoxic effects of *Juniperus sabina* and *Zataria multiflora* extracts with *Taxus baccata* extract and Cisplatin on normal and cancer cell lines // *Pharmacogn Mag*. — 2010. — № 6 (22). — P. 102—105.
16. Suleimenov E.M. Components of *Peusedanum morisonii* and their antimicrobial and cytotoxic activity // *Chemistry of Natural Compounds*. — 2009. — № 45 (5) — P. 710—711.
17. Suleimenov Ye.M., Atazhanova G.A., Kulyjasov A.T., Ozek T., Demirchi B., Adekenov S.M., Baser K.H.C. Constituents of *Juniperus sabina* essential oil from Kazakhstan / 4th Internat. Symposium on the chemistry of natural compounds, Isparta, Turkey. 2001. — P. 93.

## 5.2. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ МИЦЕЛЛЯРНЫХ СУБСТРАТОВ В ПРИСУТСТВИИ АДРЕНАЛИНА И МЕТИЛДОФА

*Перевозкина Маргарита Геннадьевна*

*канд. хим. наук, старший преподаватель*

*Государственного аграрного университета Северного Зауралья,*

*г. Тюмень*

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

### CATALYTIC OXYDATION OF MICELLAR SUBSTRATA OVER ADRENALIN AND METHYLDOPA

*Margarita Perevozkina*

*candidate of chemical sciences, Head teacher*

*of State Agrarian University of Northern Transurals,*

*Tyumen*

#### АННОТАЦИЯ

Исследована антиоксидантная активность адреналина и метилдофа в сравнении со стандартными ингибиторами окисления дибунолом (ионолом),  $\alpha$ -токоферолом и пирокатехином в мицеллярных катализируемых субстратах. Выявлены слабые антиоксидантные свойства у адреналина и метилдофа, уступающие пирокатехину. Показана возможность адреналина и метилдофа снижать максимальную скорость окисления в 4—6 раз по сравнению с контролем, разрушать гидропероксиды молекулярным путем на 50—60 %. Установлено, что дибунол превосходит по своему действию природный антиоксидант  $\alpha$ -токоферол.

#### ABSTRACT

Antioxidant activity of adrenalin and methyldopa has been studied in comparison with standard oxidation retarders by dibunol (ionol),  $\alpha$ -

tocopherol and pyrocatechin in micellar catalyzing substrata. There are defined weak antioxidant properties with adrenalin and methyl dopa, which come short of pyrocatechin. There is shown the possibility of adrenalin and methyl dopa to inhibit the maximum oxidation rate by 4—6 times in comparison with control and to consume hydroperoxides molecularly for 50—60 %. It is found that dibunol exceeds in its influence natural antioxidant  $\alpha$ -tocopherol.

**Ключевые слова:** адреналин; метилдофа;  $\alpha$ -токоферол; дибунол (ионол); антиоксидантная активность; каталитическое окисление; мицеллы.

**Keywords:** adrenalin; methyl dopa;  $\alpha$ -tocopherol; dibunol (ionol); antioxidant activity; catalytic oxydation; micelles.

В настоящее время антиоксиданты (АО) нашли широкое применение в медицине, в пищевой, косметической и химико-фармацевтической промышленности. Перечень официально разрешенных, нетоксичных АО невелик, преимущественно — это природные соединения [2, 5]. Ведется поиск перспективных АО из числа традиционных лекарственных препаратов с целью расширения спектра их фармакологического действия. Создаются новые кинетические модели для тестирования антиоксидантной активности жирорастворимых и водорастворимых соединений в условиях, приближенных к биологическим средам.

**Целью** данного исследования являлась разработка кинетического способа тестирования антиоксидантной активности различных классов органических соединений в условиях, приближенных к биологическим средам, изучение ингибирующих свойств производных пирокатехина: адреналина, метилдофа в сравнении с реперными антиоксидантами дибунолом (ионолом) и  $\alpha$ -токоферолом.

#### **Экспериментальная часть**

Антиоксидантную активность (АОА) изучали волнометрическим методом поглощения кислорода в модифицированной установке типа Варбурга при окислении модельного субстрата метиллинолеата (МЛ), этилолеата (ЭО) в присутствии триметилцетиламмоний бромид (ЦТМАБ) в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ)  $1 \times 10^{-3}$  М, с добавками раствора хлорида меди (II) в количестве  $2 \times 10^{-3}$  М при  $t = (60 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}$ . Соотношение воды и липидов составляло 3:1, а общий объем пробы 4 мл [7]. Графическим методом

определяли величину периода индукции ( $\tau_i$ ), представляющей собой отрезок оси абсцисс, отсекаемый перпендикуляром, опущенным из точки пересечения касательных, проведенных к кинетической кривой. Эффективность торможения процесса окисления липидного субстрата определяется совокупностью реакций ингибитора и обозначает его антиоксидантную активность, количественно определяемой по формуле  $AOA = \tau_i - \tau_s / \tau_s$ , где  $\tau_s$  и  $\tau_i$  — периоды индукции окисления субстрата в отсутствие и в присутствии исследуемого АО соответственно, сравнивали с действием ингибитора, принятого за стандарт, используя отношение  $\tau_i / \tau_{rep}$ , где  $\tau_{rep}$  — период индукции реперного (стандартного) ингибитора. Из наклона кинетических кривых (КК) определяли начальную ( $W_{нач.}$ ) и максимальную ( $W_{max.}$ ) скорости окисления липидного субстрата с добавками АО. Скорость инициирования определяли уравнением  $W_i = f [InH] / \tau_i$ , где  $f$  - стехиометрический коэффициент ингибирования,  $[InH]$  — концентрация ингибитора,  $\tau_i$  — период индукции. В качестве стандартных ингибиторов использовали  $\alpha$ -токоферол и дибунол, при этом концентрации АО были сравнимыми.

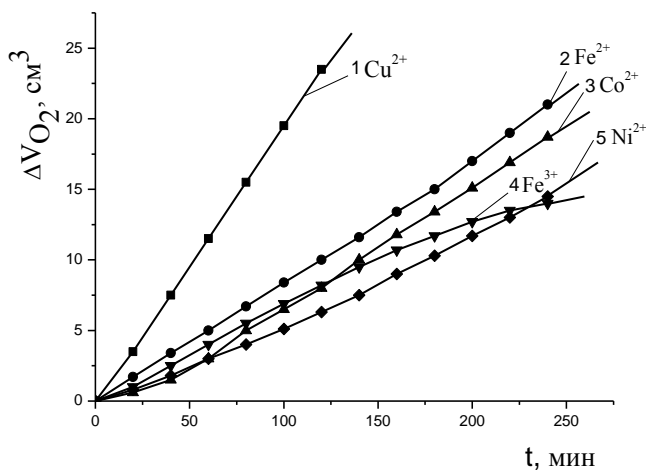
Кинетику накопления гидропероксидов в метилолеате (МО) исследовали в условиях аутоокисления методом обратного йодометрического титрования в среде хлорбензола при  $t = (60 \pm 0,2) ^\circ C$ . Навеску окисляемого модельного субстрата растворяли в смеси ледяной уксусной кислоты и хлороформа в соотношении 3:2, добавляли насыщенный на холоду иодид калия, смесь перемешивали и оставляли в темноте. Через равные промежутки времени отбирали пробы и определяли в них перекисное число:  $ПЧ = \frac{0,1269 \times (a - b)}{d}$ ; где  $a$  — объем  $Na_2S_2O_3$ , пошедший на титрование пробы;  $b$  — объем  $Na_2S_2O_3$ , пошедший на титрование контрольного опыта;  $d$  — масса навески субстрата окисления.

Чистоту соединений контролировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Содержание основного вещества составляло 99,9 %. В качестве субстрата окисления применяли метиллинолеат, этилолеат и метилолеат, дважды очищенные путем вакуумной перегонки в токе аргона при  $105 ^\circ C$  (чистота липидного субстрата после перегонки — 99,8 %). Очистку АИБН проводили последовательной перекристаллизацией из безводных этанола, ацетона и бензола. Дибунол (2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол) очищали двух-

кратной кристаллизацией из абсолютного этанола,  $\alpha$ -токоферол (фирмы «Serva», Германия) очищали перегонкой под вакуумом и последующим контролем методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) в системе — петролейный : диэтиловый эфир (9 : 1 по объёму).

### Результаты и их обсуждение

С целью выбора эффективных катализаторов на процесс окисления липидных субстратов было изучено влияние солей переходных металлов:  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{CuCl}_2$  в широком диапазоне концентраций ( $10^{-6}$ - $10^{-1}$  М) в водно-эмульсионной среде.

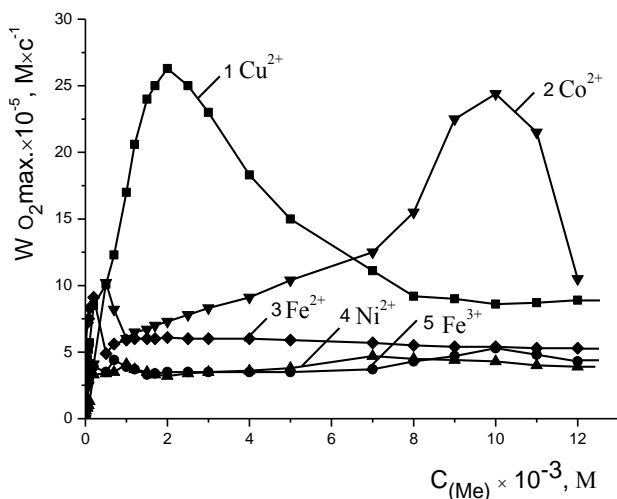


**Рисунок 1. Кинетика окисления МЛ в водно-липидной среде в присутствии добавок солей металлов в концентрации  $1 \times 10^{-3}$  М: 1 —  $\text{CuCl}_2$ , 2 —  $\text{FeSO}_4$ , 3 —  $\text{CoCl}_2$ , 4 —  $\text{FeCl}_3$ , 5 —  $\text{NiCl}_2$ ,  $1 \times 10^{-3}$  М ЦТМАБ,  $t=60^\circ\text{C}$**

На рис. 1. представлены КК поглощения кислорода в присутствии равных добавок ( $1 \times 10^{-3}$  М) солей железа (II,III), никеля (II), кобальта (II) и меди (II). Из рис.1 видно, что в сравнимых концентрациях наиболее эффективным катализатором является хлорид меди (II). Установлено, что скорость окисления метиллинолеата в присутствии хлорида меди была выше в 5 раз по сравнению с добавками солей других металлов и при концентрации  $2 \times 10^{-3}$  М



составляла  $(2,6 \pm 0,3) \times 10^{-4} \text{ М} \times \text{с}^{-1}$  (рис. 2). Показано, что скорость каталитического окисления МЛ выше в 1000 раз, чем в безводной среде в присутствии  $6 \times 10^{-3} \text{ М}$  азо-бис-изо-бутиронитрила (АИБН), которая составляла  $(2,6 \pm 0,3) \times 10^{-7} \text{ М} \times \text{с}^{-1}$ .



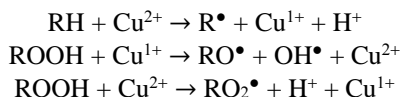
**Рисунок 2. Зависимость стационарных скоростей окисления МЛ в присутствии солей катализаторов от их концентраций, М: 1 —  $\text{CuCl}_2$ , 2 —  $\text{CoCl}_2$ , 3 —  $\text{Fe}_2\text{SO}_4$ , 4 —  $\text{NiCl}_2$ , 5 —  $\text{FeCl}_3$ ,  $1 \times 10^{-3} \text{ М}$  ЦТМАБ,  $t = 60^\circ \text{ С}$**

Для выбора оптимальной добавки ЦТМАБ исследовали диапазон концентраций ( $10^{-4}$ — $10^{-2}$ ) М. Концентрация ПАВ  $1 \times 10^{-3} \text{ М}$  оказалась оптимальной, дальнейшее её повышение приводило к снижению скорости окисления. Указанную концентрацию детергента, обеспечивающую наибольшую скорость реакции, можно рекомендовать для использования в гетерогенных моделях окисления. Методом Ребиндера и рефрактометрическим методом была оценена критическая концентрация мицеллообразования ЦТМАБ  $(1,0 \pm 0,2) \times 10^{-3} \text{ М}$ , что соответствовало кинетическим данным. Аналогичные закономерности наблюдались при окислении других субстратов. На основе проведенных исследований была предложена новая кинетическая модель экспресс-тестирования антиоксидантов: модельный субстрат

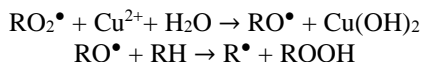
содержит  $2 \times 10^{-3}$  М хлорида меди (II),  $1 \times 10^{-3}$  М ЦТМАБ, липиды и воду 1 : 3.

Механизм каталитического окисления липидов в водно-эмульсионной среде сводится к следующему. В присутствии ЦТМАБ формируются мицеллы. Добавки катионного ПАВ усиливают мицеллообразование, при этом катионы внедряются в промежутки между углеводородными «хвостами» с образованием двойного электрического слоя. С выработкой свободных радикалов высших жирных кислот катионы катализатора должны иметь доступ к гидрофобным хвостам субстрата.

В присутствии катализатора известны следующие реакции зарождения цепей [4]:



Возможно участие катализатора в продолжении цепей :

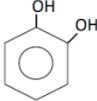
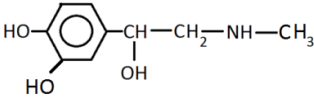
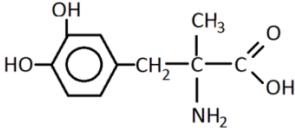
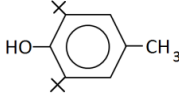
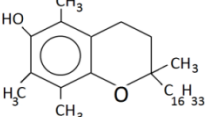


Новая кинетическая модель экспресс-тестирования антиоксидантной активности соединений была изучена на примере адреналина и метилдофа в сравнении с реперными антиоксидантами. В таблице 1 представлены формулы изучаемых соединений.

Адреналин известен как «гормон стресса». В медицине адреналин используется как гипергликемическое, бронхолитическое, гипертензивное, противоаллергическое, сосудосуживающее средство. Метилдофа применяют как гипотензивное средство при разных формах гипертонической болезни. Впервые антиоксидантные свойства адреналина и метилдофа были показаны в нашей работе [6]. По химической структуре соединения адреналин и метилдофа относятся к аминифенолам.

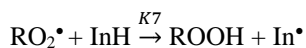
Таблица 1.

## Химические формулы изучаемых антиоксидантов

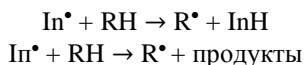
№ п/п	Название АО	Формула
1	Пирокатехин (1,2-дигидрокси-бензол)	
2	Адреналин (1-(3',4'-дигидроксифенил)-2-(N-метил)-аминоэтанол)	
3	Метилдофа (2-амино-2-метил-3-(3',4'-дигидрокси)-фенилпропановая кислота)	
4	Дибунол (2,6-дигрет.бутил-4-метил-фенол) (ионол)	
5	α-Токоферол (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметил-2-фитилхроман)	

В соответствии с механизмом окисления аминифенолы могут участвовать в различных элементарных реакциях:

- реакции обрыва цепей, что должно приводить к увеличению периода индукции и уменьшению начальных скоростей процесса пропорционально концентрации:



- реакции разветвления, продолжения, инициирования цепей, что должно приводить к увеличению скорости процесса, сокращению периода индукции:



- реакции разрушения гидропероксидов по молекулярному механизму, что приведет к уменьшению скорости процесса пропорционально концентрации аминифенола:



Известно [1], что аминоксодержащие соединения способствуют разрушению гидропероксидов с образованием молекулярных продуктов согласно схеме:

первичные амины



вторичные амины



третичные амины



Скорость реакции падает в ряду: третичные > вторичные > первичные.

В процессе окисления должны конкурировать различные элементарные реакции за счет фенольного гидроксила и аминогруппы, что сказывается на суммарной антиоксидантной активности соединения.

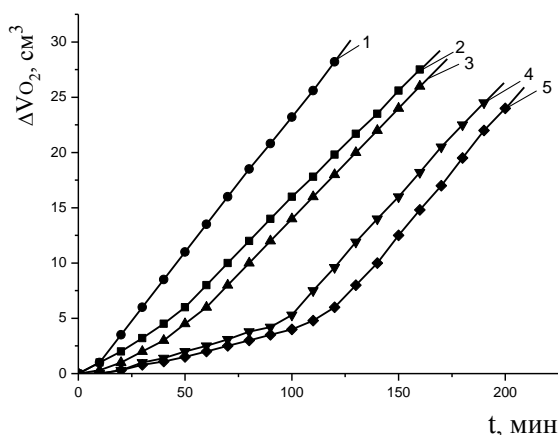
**Таблица 2.**

**Кинетические параметры окисления субстратов в водно-липидной среде в присутствии  $2 \times 10^{-3}$  М  $\text{CuCl}_2$  в зависимости от концентрации АО,  $t=60^\circ\text{C}$**

№ п/п	$C(\text{АО}), \text{M}$	$\tau, \text{мин.}$	$W_{\text{нач.}} \times 10^{-5}, \text{M} \times \text{c}^{-1}$	$W_{\text{max.}} \times 10^{-5}, \text{M} \times \text{c}^{-1}$	$W_{\text{O}_2 \text{ max}} \text{ ЭО}$ $W_{\text{O}_2 \text{ max}} \text{ АО}$
<b>I Пирокатехин</b>					
1	0	15	7,5	14,0	-
2	$5 \times 10^{-5}$	10	10,1	14,0	1,0
3	$1 \times 10^{-4}$	9	12,0	17,3	0,8
4	$2 \times 10^{-4}$	26	9,4	16,4	0,9
5	$5 \times 10^{-4}$	50	8,3	15,1	0,9
6	$7 \times 10^{-4}$	60	6,2	15,3	0,9
7	$1 \times 10^{-3}$	70	5,1	14,2	1,0
8	$2 \times 10^{-3}$	80	4,1	15,0	0,9
9	$5 \times 10^{-3}$	90	2,2	15,2	0,9
10	$7 \times 10^{-3}$	110	2,0	16,3	0,9
11	$1 \times 10^{-2}$	120	1,9	16,8	0,8

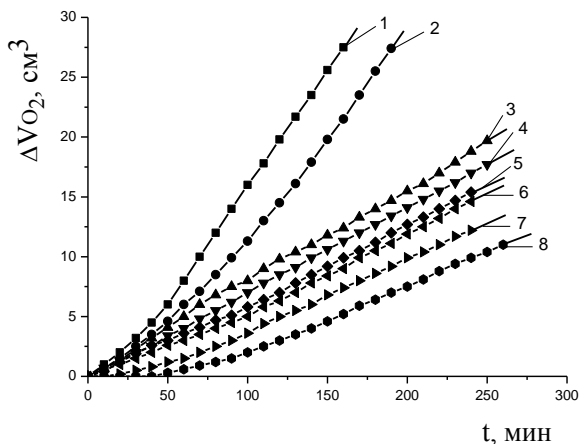
<b>II Адреналин</b>					
12	0	15	7,5	14,0	-
13	$5 \times 10^{-5}$	25	4,5	4,9	2,9
14	$1 \times 10^{-4}$	30	3,4	4,6	3,0
15	$2 \times 10^{-4}$	30	3,0	7,0	2,0
16	$5 \times 10^{-4}$	35	2,8	6,1	2,3
17	$7 \times 10^{-4}$	40	2,7	5,5	2,5
18	$1 \times 10^{-3}$	40	2,1	4,5	3,1
19	$2 \times 10^{-3}$	45	1,7	4,2	3,3
20	$5 \times 10^{-3}$	45	1,6	4,0	3,5
21	$7 \times 10^{-3}$	50	1,3	3,9	3,6
22	$1 \times 10^{-2}$	60	0,9	3,8	3,7
<b>III Метилдофа</b>					
23	0	15	7,5	14,0	-
24	$5 \times 10^{-5}$	20	7,1	9,4	1,5
25	$1 \times 10^{-4}$	30	6,8	8,8	1,6
26	$2 \times 10^{-4}$	30	4,8	7,3	1,9
27	$5 \times 10^{-4}$	35	3,6	6,6	2,1
28	$7 \times 10^{-4}$	35	3,5	5,3	2,6
29	$1 \times 10^{-3}$	35	3,4	5,1	2,7
30	$2 \times 10^{-3}$	40	2,5	3,5	4,0
31	$5 \times 10^{-3}$	45	1,8	2,9	4,8
32	$7 \times 10^{-3}$	55	1,6	2,6	5,4
33	$1 \times 10^{-2}$	60	0,9	2,4	5,8
<b>IV Дибунол (Ионол)</b>					
33	0	15	7,5	14,0	-
34	$1 \times 10^{-6}$	40	7,3	13,6	1,0
35	$1 \times 10^{-5}$	65	7,0	12,3	1,1
36	$2 \times 10^{-5}$	95	5,1	10,8	1,3
37	$5 \times 10^{-5}$	110	2,6	9,3	1,5
38	$1 \times 10^{-4}$	140	2,1	8,7	1,6
39	$2 \times 10^{-4}$	210	1,6	8,6	1,6
40	$5 \times 10^{-4}$	360	1,3	8,4	1,7
41	$7 \times 10^{-4}$	450	1,1	8,3	1,7
42	$1 \times 10^{-3}$	600	1,0	8,0	1,8

V $\alpha$ -Токоферол					
43	0	15	7,5	14,0	-
44	$1 \times 10^{-5}$	30	4,3	8,8	1,6
45	$5 \times 10^{-5}$	35	4,1	8,2	1,7
46	$1 \times 10^{-4}$	40	3,8	7,4	1,9
47	$2 \times 10^{-4}$	50	3,6	7,5	1,9
48	$5 \times 10^{-4}$	70	3,0	7,9	1,8
50	$7 \times 10^{-4}$	60	3,4	14,6	1,0
51	$1 \times 10^{-3}$	45	4,3	16,8	0,8

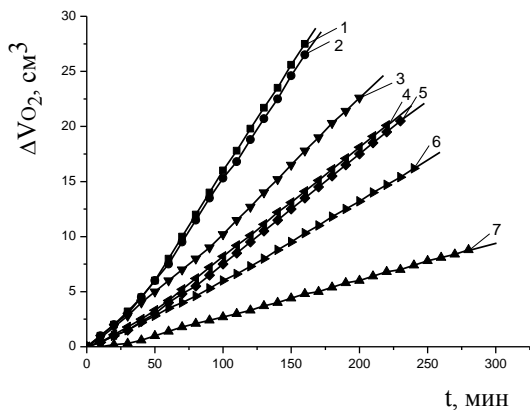


**Рисунок 3. Кинетика окисления этилолеата в водно-липидной среде в присутствии добавок пирокатехина, M: 1 — контроль, 2 —  $1 \times 10^{-4}$ ; 3 —  $1 \times 10^{-3}$ ; 4 —  $5 \times 10^{-3}$ ; 5 —  $1 \times 10^{-2}$ ;  $2 \times 10^{-3}$  M CuCl<sub>2</sub>, t=600 C**

На рис. 3 приведены типичные КК окисления этилолеата в зависимости от концентрации пирокатехина. Показано, что все добавки пирокатехина тормозят процесс окисления: наблюдается период индукции, период аутоускорения и достижения максимальной скорости окисления. При увеличении концентрации пирокатехина повышается максимальная скорость процесса. Увеличение максимальной скорости процесса окисления (табл. 2) в присутствии пирокатехина, вероятно, связана с участием гидроксильных групп в образовании хелатов с катионами меди (II), при этом снижается их эффективность в процессе ингибирования.



**Рисунок 4.** Кинетика окисления этилолеата в водно-липидной среде в присутствии добавок адреналина, М: 1 — контроль, 2 —  $1 \times 10^{-6}$ ; 3 —  $5 \times 10^{-6}$ ; 4 —  $1 \times 10^{-5}$ ; 5 —  $5 \times 10^{-5}$ ; 6 —  $1 \times 10^{-4}$ ; 7 —  $1 \times 10^{-3}$ ; 8 —  $1 \times 10^{-2}$ ;  $2 \times 10^{-3} M CuCl_2 t = 60^{\circ} C$

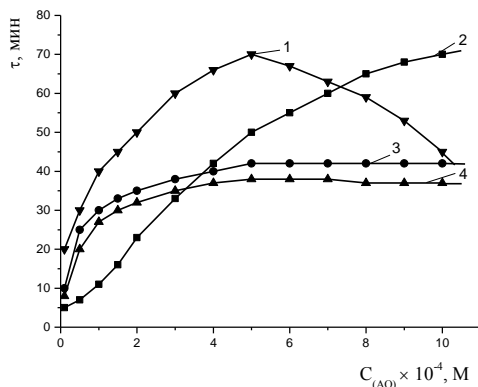


**Рисунок 5.** Кинетика окисления этилолеата в водно-липидной среде в присутствии добавок метилдофа, М: 1 — контроль, 2 —  $1 \times 10^{-6}$ ; 3 —  $1 \times 10^{-4}$ ; 4 —  $3 \times 10^{-4}$ ; 5 —  $5 \times 10^{-4}$ ; 6 —  $1 \times 10^{-3}$ ; 7 —  $1 \times 10^{-2}$ ;  $2 \times 10^{-3} M CuCl_2 t = 60^{\circ} C$

Кинетические кривые с добавками адреналина приведены на рис. 4. Наблюдается другой характер КК: небольшие периоды индукции, которые практически не зависят от концентрации адреналина, но происходит значительное снижение максимальной скорости процесса окисления в 3—4 раза. Такой характер КК предполагает подавление антиоксидантных свойств фенольного гидроксила за счет образование хелатных комплексов с катионами меди (II) и проявление ингибирующего эффекта только за счет аминогруппы.

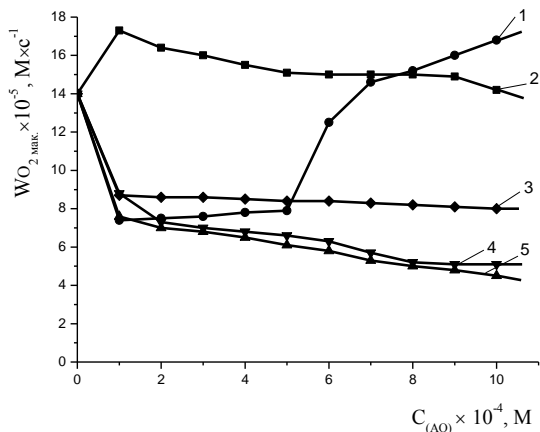
На рис. 5. наблюдается аналогичный характер КК с добавками метилдофа: незначительные периоды индукции, снижение начальной и максимальной скоростей окисления в 3—6 раз по сравнению с контролем. Снижение начальной скорости окисления указывает на участие метилдофа в реакциях обрыва цепей. Снижение максимальной скорости окисления (табл. 2) может свидетельствовать об участии соединения в реакциях с гидропероксидами с образованием молекулярных продуктов.

На рис. 6. показаны зависимости периодов индукции антиоксидантов от их концентраций: наблюдалась экстремальная зависимость с максимумом в  $5 \times 10^{-4} \text{ M}$  для  $\alpha$ -токоферола, для пирокатехина периоды индукции возрастали с увеличением концентрации соединения, периоды индукции адреналина и метилдофа возрастали до  $5 \times 10^{-4} \text{ M}$  и в дальнейшем не изменялись.



**Рисунок 6. Зависимости периода индукции от концентрации антиоксидантов: 1 —  $\alpha$ -токоферол, 2 — пирокатехин, 3 — адреналин, 4 — метилдофа;  $2 \times 10^{-3} \text{ M CuCl}_2$ , субстрат окисления — этилолеат,  $t=60^\circ \text{C}$**

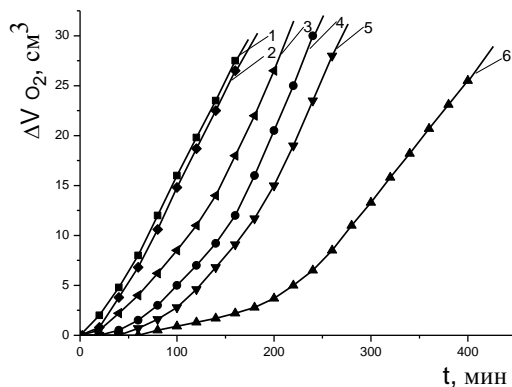




**Рисунок 7. Зависимость максимальной скорости окисления этилолеата с добавками антиоксидантов: 1 —  $\alpha$ -токоферол, 2 — пирокатехин, 3 — дибунол, 4 — адреналин, 5 — метилдофа;  $2 \times 10^{-3} M CuCl_2, t = 60^\circ C$**

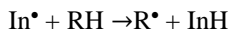
В работе была проанализирована закономерность изменения максимальной скорости окисления этилолеата в присутствии различных концентраций изучаемых АО (рис. 7). Указанные кинетические параметры практически не изменялись с ростом концентрации дибунола и пирокатехина, но существенно уменьшались при введении ингибиторов, содержащих аминогруппу — адреналин, метилдофа. Для  $\alpha$ -токоферола максимальная скорость изменяется экстремально, до концентрации  $5 \times 10^{-4} M$  снижалась и сохраняла свои значения, свыше  $5 \times 10^{-4} M$  резко увеличивалась.

Показано, что в водно-липидной среде дибунол проявляет себя как сильный ингибитор: наблюдался период полного торможения, период аутоускорения и достижение максимальной скорости окисления (рис. 8). Периоды индукции увеличивались пропорционально росту концентрации дибунола (табл. 2). Наличие торможения в присутствии добавок дибунола являлось признаком радикально-цепного механизма процесса, а отсутствие комплексообразующей способности с катионами меди было связано с экранированностью двумя трет-бутильными заместителями его донорно-акцепторного центра.

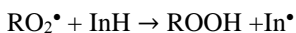


**Рисунок 8. Кинетика окисления этилолеата в водно-липидной среде в присутствии добавок дибутанола,  $M$ : 1 — контроль, 2 —  $1 \times 10^{-6}$ , 3 —  $2 \times 10^{-5}$ , 4 —  $5 \times 10^{-5}$ , 5 —  $1 \times 10^{-4}$ , 6 —  $5 \times 10^{-4}$ ;  $2 \times 10^{-3} M CuCl_2$ ,  $t = 60^\circ C$**

Анализ кинетических кривых окисления этилолеата с добавками АО показал существенные отличия механизма действия  $\alpha$ -токоферола от дибутанола в зависимости от концентрации. С увеличением концентрации  $\alpha$ -токоферола наблюдалась инверсия антиоксидантного действия (рис. 6), при этом увеличивалась максимальная скорость окисления (рис. 7). Причиной ускорения процесса может быть комплексообразование OH-группы  $\alpha$ -токоферола с катионами меди. В процессе окисления  $\alpha$ -токоферол образует достаточно активные токофероксильные радикалы ( $In^*$ ), способные участвовать в побочных реакциях продолжения цепей с молекулами субстрата (RH) [3]:

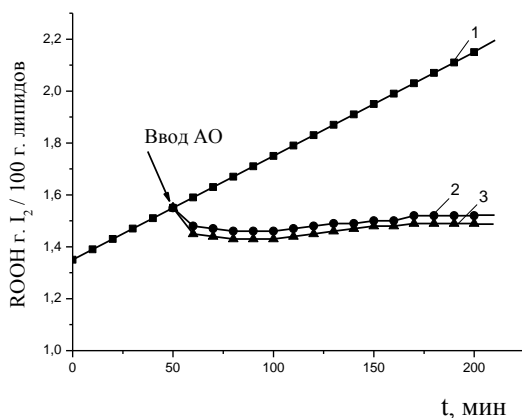


В результате этой реакции восстанавливается активная фенольная форма антиоксиданта, взаимодействующая в дальнейшем с пероксильными радикалами, ведущими цепи окисления:



На основании представлений об особенностях химической структуры и кинетики окисления липидных субстратов в присутствии

аминофенолов полагали, что соединения способны разрушать гидропероксиды. Для подтверждения гипотезы о возможном разрушении гидропероксидов под действием АО, был проведен эксперимент по прямому тестированию кинетики накопления гидропероксидов (ROOH) после введения соединений в частично окисленный субстрат (время эксперимента 8 часов). В течение первого часа наблюдалось снижение концентрации гидропероксидов (рис. 9), в контрольном опыте ROOH продолжали накапливаться. Установлено, что все исследуемые добавки АО способствовали разрушению гидропероксидов на 50—60 %.

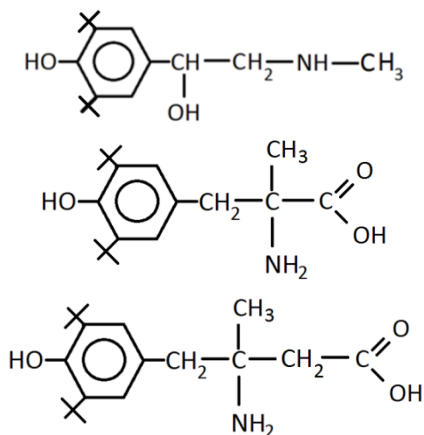


**Рисунок 9. Кинетика накопления гидропероксидов при аутоокислении МО в присутствии равных концентраций АО: 1 — контроль, 2 — адrenalин, 3 — метилдофа. Стрелкой показан ввод АО.  $C_{(АО)}=2 \times 10^{-4} M$ ,  $t=60^{\circ}C$**

На основании полученных данных можно рекомендовать осуществление синтеза потенциальных антиоксидантов, у которых экранированная двумя *трет*-бутильными заместителями фенольная — ОН-группа должна находиться в *пара*-положении к заместителю с аминогруппой, что снизит возможность образования хелатных комплексов с катионами меди, а способность аминогруппы разрушать гидропероксиды нерадикальным путем будет способствовать увеличению периодов индукции. Для повышения антиоксидантного эффекта рекомендуется разделение электронодонорной — NH<sub>2</sub>-группы

и электроноакцепторной — COOH-группы, что приведет к снижению образования внутримолекулярных связей.

Химические формулы предполагаемых соединений:



Полученные данные могут представлять интерес с целью расширения спектра применения изучаемых антиоксидантов и быть методологической основой для разработки синтеза новых высокоэффективных полифункциональных соединений.

#### **Выводы:**

1. Установлено, что синтетический ингибитор окисления дибунол в водно-липидной среде превосходит по своему действию природный антиоксидант α-токоферол.

2. Выявлены слабые антиоксидантные свойства у адреналина и метилдофа в водно-липидных катализируемых субстратах, уступающие пирокатехину.

3. Показана возможность адреналина и метилдофа снижать максимальную скорость окисления в 4—6 раз по сравнению с контролем.

4. Установлено, что адреналин и метилдофа в процессе окисления липидных субстратов разрушают гидропероксиды молекулярным путем, вероятно, за счет аминогруппы на 50—60 %.

### Список литературы:

1. Антоновский В.Л. Органические перекисные инициаторы. М.: Химия, 1972. — 448 с.
2. Бурлакова Е.Б., Алесенко А.В., Молочкина А.М. / Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте. М.: Наука, 1975. — 214 с.
3. Бурлакова Е.Б., Крашаков С.А., Храпова Н.Г. Роль токоферолов в пероксидном окислении липидов биомембран // Биологические мембраны. — 1998. — Т. 15. — № 2. — С. 137—167.
4. Владимиров Ю.А., Сулова Т.Б., Оленев В.И. Митохондрии. Транспорт электронов и преобразование энергии. М.: Наука, 1976. — 109 с.
5. Коган А.Х., Сыркин А.Л., Дриницина С.В. Кислородные свободнорадикальные процессы в патогенезе ишемической болезни сердца и перспективы применения антиоксиданта Q10 (убихинона) для их коррекции // Кардиология. — 1997. — № 12. — С. 62—70.
6. Перевозкина М.Г., Тихонова В.В., Ушкалова В.Н. Каталитическое окисление липидных субстратов в присутствии фенолов и аминов // В сб.: Свободно-радикальное окисление липидов в эксперименте и клинике. Тюмень, Из-во Тюм.ГУ. 1997. — С. 90—104.
7. Ушкалова В.Н., Перевозкина М.Г., Барышников Э.В. Разработка способа тестирования средств антиоксидантотерапии // В сб.: Свободно-радикальное окисление липидов в эксперименте и клинике. Тюмень, Из-во Тюм.ГУ. — 1997. — С. 77—82.

**СЕКЦИЯ 6.  
НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**6.1. ГЕОЭКОЛОГИЯ**

**ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА  
И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД  
ЕСТЕСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ  
ЮЖНОЙ ЯКУТИИ**

*Кузнецова Любовь Ивановна*

*ст. лаборант, ИБПК СО РАН,  
г. Якутск*

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

*Чевычелов Александр Павлович*

*д-р биол. наук, зав. лаб. ИБПК СО РАН,  
г. Якутск*

*E-mail: [chev.soil@list.ru](mailto:chev.soil@list.ru)*

**ESTIMATE OF CHEMICAL ANALYSIS  
AND PROPERTIES OF SURFACE NATURAL  
WATER LANDSCAPES OF SOUTH YAKUTIA**

*Kuznetsova Lubov Ivanovna*

*senior lab assistant, IBPC SB RAS,  
Yakutsk*

*Chevychelov Alexander Pavlovich*

*doctor of Biology, lab chief, IBPC SB RAS,  
Yakutsk*

## АННОТАЦИЯ

Целью данного исследования являлась оценка условий формирования, а также химического состава и свойств поверхностных вод естественных ландшафтов Южной Якутии. При этом использовались общепринятые геоэкологические и гидрохимические методы исследований. На основе изучения литолого-геохимических и ландшафтно-климатических особенностей исследуемого региона, а также химического состава и свойств поверхностных вод Южной Якутии предложено выделение здесь трех различных эколого-гидрохимических районов: Лено-Алданского, Алданского и Чульманского.

## ABSTRACT

Estimate of environment and chemical composition and properties of surface waters of natural landscapes from South Yakutia is the objective of this research. We used conventional geo-ecological and hydrochemical methods of testing. Basing on the study of lithologic-geochemical and landscape-climatic patterns of the region under investigation as well as chemical analysis and properties of surface waters in South Yakutia we suggest three different ecologo-hydrochemical provinces beestablished: Lena-Aldan, Aldan and Chulman.

**Ключевые слова:** поверхностные воды; состав и свойства.

**Keywords:** surface waters; composition and properties.

Рассматриваемый нами район исследований охватывает обширный регион — Южную Якутию. Область исследований примерно может быть ограничена географическими координатами 56—60° с. ш. и 120-130° в. д. В пределах данной территории, исходя из её литолого-геоморфологических особенностей, наши исследования проводились на Лено-Алданском плато, Алданском нагорье и в Чульманской впадине. При этом применялись общепринятые географические методы — сравнительно-географический и геохимический [2]. При определении химических показателей исследуемых вод использовался ряд стандартных аналитических методов [3]. При этом качественная оценка исследуемых поверхностных вод проводилась на основе классификации О.А. Алёкина [1].

Лено-Алданское плато характеризуется более-менее пологим рельефом, абсолютные отметки местности изменяются в пределах 400—600 м, климат резко континентальный с нормальным увлажнением ( $K_y \approx 1$  (\* Значение коэффициента увлажнения по Н.Н. Иванову)), в растительном покрове распространены средне-

таежные лиственничные и сосновые леса относительно высокого бонитета. В составе горных пород абсолютно преобладают кембрийские осадочные карбонатные породы: доломиты и известняки, многолетняя мерзлота распространена повсеместно. В почвенном покрове преимущественное распространение имеют остаточно-карбонатные почвы — дерново- и перегнойно-карбонатные.

Рельеф Алданского нагорья преимущественно низко- и среднегорный, абсолютные высоты местности колеблются в пределах 700—1200 м, а отдельных гольцовых групп даже выше. Климат нагорья резко континентальный гумидный и супергумидный ( $K_y > 1,5$ ), в растительном покрове преобладает низкобонитетная горно-таежная и горно-тундровая растительность, отмечается вертикальная поясность почвенно-растительного покрова. В составе горных пород преимущественное распространение имеют кислые магматические породы архейского возраста — гранито-гнейсы, многолетняя мерзлота имеет прерывистый характер [4]. В почвенном покрове преобладают кислые, не насыщенные обменными основаниями почвы элювиального ряда — подбуры и подзолистые почвы.

Чульманская впадина — это плоскогорье, относительно врезанное в рельеф Алданского нагорья. Абсолютные отметки днища впадины находятся на уровне 600—700 м. Климат впадины резко континентальный гумидный ( $K_y = 1,4$ ), в растительном покрове преобладают среднетаежные лиственничные леса и мари, развитые по верховым и переходным болотам. В составе горных пород абсолютно преобладают юрские осадочные породы — песчаники, алевролиты и аргиллиты, вмещающие пласты каменных углей. Многолетняя мерзлота носит прерывистый характер. В почвенном покрове абсолютно преобладают кислые не насыщенные обменными основаниями подзолистые типичные и альфегумусовые почвы.

По значениям показателя рН и минерализации (табл. 1) речные воды Лено-Алданского плато относятся к слабощелочным со средней минерализацией, в то время как таковые Алданского нагорья и Чульманской впадины — к нейтральным с очень малой минерализацией. По общей жесткости данные воды всех трех районов характеризуются как мягкие.



Таблица 1.

## Химический состав и свойства поверхностных вод Южной Якутии в летне-осеннюю межень, мг/л

Наименование района	рН	Ионы, мг/л						Сумма ионов, мг/л
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	СГ	
Лено-Алданское плато	<u>7,4-7,9*</u> 7,7	<u>24,3-52,1</u> 34,1	<u>11,4-22,7</u> 15,1	<u>3,0-11,0</u> 5,4	<u>122,0-268,5</u> 167,2	<u>12,6-29,7</u> 20,4	<u>0,7-1,0</u> 0,8	<u>174,0-382,5</u> 243,2
Алданское нагорье	<u>6,6-7,9</u> 7,5	<u>1,8-15,0</u> 7,7	<u>1,3-7,8</u> 3,8	<u>1,0-6,0</u> 1,8	<u>6,1-61,0</u> 30,2	<u>2,1-27,9</u> 12,8	<u>0,3-1,4</u> 0,8	<u>21,3-105,0</u> 56,0
Чульманская впадина	<u>6,4-7,9</u> 7,3	<u>3,2-25,1</u> 11,2	<u>0,6-5,1</u> 2,9	<u>1,0-10,0</u> 4,4	<u>12,2-64,1</u> 44,4	<u>5,5-22,1</u> 12,1	<u>0,3-2,1</u> 0,9	<u>35,2-151,2</u> 76,3

Примечание: \* Здесь и далее над чертой приведены пределы изменения значений (содержаний), под чертой — среднее значение (содержание)

Таблица 2.

## Содержание биогенных веществ в поверхностных водах Южной Якутии в летне-осеннюю межень, мг/л

Наименование района	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		Fe <sub>общее</sub>	SiO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
				минеральный	общий		
Лено-Алданское плато	<u>0,195-0,500</u> 0,358	<u>0,0014-0,1038</u> 0,0334	<u>0,100-0,207</u> 0,148	<u>0,0015-0,0050</u> 0,0040	<u>0,0052-0,0322</u> 0,0135	<u>0,05-0,15</u> 0,09	<u>2,04-2,52</u> 2,24
Алданское нагорье	<u>0,210-0,400</u> 0,278	<u>0,0012-0,0610</u> 0,0199	<u>0,020-0,080</u> 0,043	<u>0,0015-0,0050</u> 0,0038	<u>0,0050-0,0160</u> 0,0072	<u>0,05-0,51</u> 0,19	<u>3,46-7,06</u> 4,72
Чульманская впадина	<u>0,040-0,710</u> 0,219	<u>0,0030-0,0272</u> 0,1040	<u>0,015-0,245</u> 0,099	<u>0,0015-0,0116</u> 0,0063	<u>0,0050-0,0512</u> 0,0232	<u>0,05-1,57</u> 0,45	<u>3,02-6,76</u> 4,46

По содержанию биогенных веществ в частности по аммонийному азоту  $\text{NH}_4^+$ , более высокое среднее значение, равное 0,358 мг/л было определено в реках Лено-Алданского плато. В реках Алданского нагорья средняя концентрация  $\text{NH}_4^+$  составляла 0,278 мг/л, и самый низкий показатель последнего был обнаружен в реках Чульманской впадины 0,219 мг/л. Высокие средние показатели нитратов были определены в реках Лено-Алданского плато — 0,148 мг/л и в реках Чульманской впадины — 0,099 мг/л, а низкое содержание последних отмечалось в реках Алданского нагорья и составляло 0,043 мг/л (табл. 2).

Самое низкое среднее содержание минерального и общего фосфора было обнаружено в реках Алданского нагорья и составляло соответственно 0,0038 и 0,0072 мг/л. В то время как в реках Лено-Алданского плато таковые были равны 0,0040 и 0,0135 мг/л соответственно. Высокое содержание данных форм фосфора отмечалось в реках Чульманской впадины и составляло соответственно 0,0063 и 0,0232 мг/л.

По содержанию железа самое низкое среднее количество такового было зафиксировано в водах рек Лено-Алданского плато и было равно 0,09 мг/л, а более высокие средние концентрации железа отмечались в реках Алданского нагорья и Чульманской впадины и составляли соответственно 0,19 и 0,45 мг/л.

Самая высокая средняя концентрация кремния, равная 4,72 мг/л, была определена в реках Алданского нагорья, а более низкие, составляющие 4,46 и 2,24 мг/л, отмечались соответственно в реках Чульманской впадины и Лено-Алданского плато.

По бихроматной окисляемости воды рек Лено-Алданского плато относятся к слабоповышенным со средним значением, равным 24,1 мг/л, Алданского нагорья с таковым, составляющим 13,8 мг/л — к средним, а воды Чульманской впадины — к малым со средней концентрацией ХПК, равной 8,9 мг/л (табл. 3).

Более высокое среднее значение содержания алюминия было выявлено для рек Алданского нагорья 7,4 мкг/л, более низкое 5,8 мкг/л — для рек Чульманской впадины, а минимальное 1,1 мкг/л — для водотоков Лено-Алданского плато (табл. 4). Более высокая средняя концентрация марганца была обнаружена в реках Чульманской впадины и составляла 0,60 мкг/л, а более низкие значения 0,22 и 0,20 мкг/л отмечались, соответственно, в реках Алданского нагорья и Лено-Алданского плато.

Таблица 3.

**Содержание загрязняющих веществ органического происхождения в поверхностных водах Южной Якутии в летне-осеннюю межень, мг/л**

Наименование района	Сорг.	Рорг.	ХПК	Органическое вещество
Лено-Алданское плато	<u>6,0-12,0</u> 9,0	<u>0,0006-0,0272</u> 0,0095	<u>16,0-32,0</u> 24,1	<u>12,0-24,0</u> 18,1
Алданское нагорье	<u>1,9-9,6</u> 5,2	<u>0,0006-0,0127</u> 0,0056	<u>5,0-25,6</u> 13,8	<u>3,8-19,2</u> 10,4
Чульманская впадина	<u>1,9-6,5</u> 3,4	<u>0,0037-0,0429</u> 0,0237	<u>5,0-17,3</u> 8,9	<u>3,8-13,0</u> 6,7

Таблица 4.

**Содержание Al, Mn и значения ОВП (Eh) в поверхностных водах Южной Якутии в летне-осеннюю межень**

Наименование района	Al, мкг/л	Mn, мкг/л	Eh, мВ
Лено-Алданское плато	<u>1,0-1,2</u> 1,1	<u>0,10-0,32</u> 0,20	<u>225,0-265,6</u> 243,8
Алданское нагорье	<u>1,8-18,1</u> 7,4	<u>0,10-0,47</u> 0,22	<u>270,2-330,2</u> 307,8
Чульманская впадина	<u>1,0-14,5</u> 5,8	<u>0,39-0,75</u> 0,60	<u>296,0-321,0</u> 303,5

На основе литолого-геохимических и ландшафтно-климатических особенностей данных геоморфологических районов, а также с учетом значений всего комплекса вышеотмеченных химических показателей исследуемых поверхностных вод Южной Якутии, представляется возможным на исследуемой территории выделить три эколого-гидрохимических района: Лено-Алданский, Алданский и Чульманский.

Воды Лено-Алданского района относятся к слабощелочным, мягким со средней минерализацией. В них отмечается наиболее высокое содержание растворенного органического вещества (РОВ), анионов: гидрокарбонатов, сульфатов и катионов: кальция, магния, натрия, азотистых соединений: аммонийного, нитритного, нитратного азота, а также минимальные количества кремния, железа,

алюминия, марганца и значения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП).

Воды Алданского района характеризуются как нейтральные, очень мягкие, с очень малой минерализацией. В них отмечается максимальное значение ОВП, а также содержание кремния, алюминия и минимальное количество нитритного и нитратного азота.

Воды Чульманского района относятся к нейтральным, очень мягким, с очень малой минерализацией. В них отмечается наиболее высокое содержание железа, марганца, общего и минерального фосфора, а также минимальное количество РОВ и аммонийного азота.

### **Список литературы:**

1. Алкин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 443 с.
2. Гагина Н.В., Федорцова Т.А. Методы геоэкологических исследований: Курс лекций. Минск: БГУ, 2002. — 98 с.
3. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 542 с.
4. Южная Якутия: мерзлотно-гидрологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района. М.: Изд-во МГУ, 1975. — 444 с.

## 6.2. КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

### ВЕКТОРНОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

*Даренская Людмила Васильевна*  
*инженер, Инженерно-технологическая академия (ТРТИ),*  
*Федеральное государственное автономное образовательное*  
*учреждение высшего профессионального образования*  
*«Южный федеральный университет»,*  
*г. Таганрог*  
*E-mail: [kronin@yandex.ru](mailto:kronin@yandex.ru)*

### THE VECTOR SOLUTION OF THE INVERSE GEODETIC PROBLEM FOR GREAT-CIRCLE DISTANCES

*Ludmila Darenskaya*  
*engineer, The Engineering-Technological Academy*  
*in the Southern Federal University (SFedU),*  
*Taganrog*

#### АННОТАЦИЯ

В статье излагается векторный метод решения обратной геодезической задачи на большие расстояния, основой которого является геометрия Лобачевского. Решение было получено 160 лет спустя после опубликованного метода Бесселя, который являлся прежде единственным, хотя были многочисленные попытки найти другое решение.

#### ABSTRACT

The vector method of a solution of the inverse geodetic problem for great-circle distances which is based on the hyperbolic geometry (also called Bolyai-Lobachevskian geometry) is considered. The solution was obtained 160 years later after the published Bessel method which was the

only way of the solution before though there were numerous attempts to find other solution.

**Ключевые слова:** обратная геодезическая задача (ОГЗ) на большие расстояния; векторный метод решения; геометрия Лобачевского; метод Бесселя.

**Keywords:** inverse solution of a geodetic problem for great-circle distances; vector method; Bolyai-Lobachevskian geometry; Bessel method.

Основой решения прямой геодезической задачи (ПГЗ) и обратной геодезической задачи (ОГЗ) на большие расстояния является система дифференциальных уравнений (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dB}{ds} = \frac{V^3}{m} \cos A \\ \frac{dL}{ds} = \frac{V}{c} \sec B \sin A \\ \frac{dA}{ds} = \frac{V}{c} \tan B \sin A \end{array} \right. \quad (1)$$

$$V = (1 + e'^2 \cos^2 B)^{1/2}$$

где: A — азимут;

A<sub>1</sub> — прямой азимут;

A<sub>2</sub> — обратный азимут;

L — долгота,

B — широта;

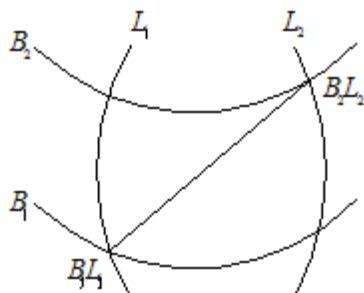
s — длина геодезической линии;

c — const

Запишем условия задач.

ПГЗ — дано: A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, L<sub>1</sub>, s; найти: A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>.

ОГЗ — дано: B<sub>1</sub>, L<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>; найти: A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, s.



**Рисунок 1. Графическое условие задачи**

Решение ПГЗ можно свести к численному интегрированию системы дифференциальных уравнений (1) на вычислителе.

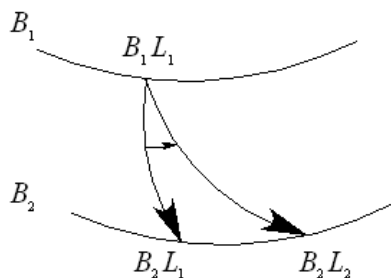
ОГЗ является более сложной задачей. Неизвестная функция  $s$  является аргументом, эллиптические интегралы, содержащие её, не выражаются через элементарные функции. Решается ОГЗ методом Бесселя [3, с. 289], который заключается в следующем: делается отображение с эллипсоида на сферу, решается задача, а затем обратный переход, используется разложение функции в ряд.

В данной работе предлагается векторный метод [1], [2], полученный 160 лет спустя после опубликованного метода Бесселя, который являлся единственным, хотя были многочисленные попытки найти другое решение [4, с. 51].

Векторный метод позволяет свести решение обратной геодезической задачи к численному интегрированию системы дифференциальных уравнений, аналогично решению прямой геодезической задачи. Сфера не используется, решение на эллипсоиде.

В этом методе применяется геометрия Лобачевского, в отличие от общепринятой геометрии Евклида. Поверхность эллипсоида рассматривается как криволинейное пространство, геодезическая линия на ней — как криволинейный вектор в этом пространстве.

Возьмём в качестве начального вектора дугу меридиана, проходящую через точку  $(B_1, L_1)$  и ограниченную параллелью  $B_2$ . Фиксируя точку  $(B_1, L_1)$ , будем поворачивать вектор таким образом, чтобы конец его двигался по параллели  $B_2$  в сторону точки  $(B_2, L_2)$  до тех пор, пока не попадёт в эту точку. Параметры полученной геодезической линии и будут решением обратной геодезической задачи.



**Рисунок 2. Графическое изображение векторное решения**

Составим уравнения движения вектора. Для этого используем известные дифференциальные формулы 1-го ряда, которые описывают изменения (d) параметров геодезической линии при её малом смещении [3, с. 146]. Эти формулы не являются уравнениями. Запишем их в общем виде:

$$\begin{cases} d\Phi_i = \sum_{j=1}^2 (F_{1i} dB_j + F_{2i} dL_j) \\ dm = F_3 ds, \quad i = 1, 2, 3 \end{cases}$$

где  $F = F(A, B, m)$   $\Phi_1 = s$ ;  $\Phi_2 = A_1$ ;  $\Phi_3 = A_2$ ; (2)

$m$  — приведённая длина геодезической линии

В нашем случае точка  $(B_1, L_1)$  и параллель  $B_2$  фиксированы, поэтому их изменения (d) равны нулю, т.е.  $dB_1 = dL_1 = dB_2 = 0$ . Будем рассматривать малое смещение геодезической линии как бесконечное малое, т.е. дифференциалом. Тогда получим систему дифференциальных уравнений, решением которой и будет решение обратной геодезической задачи.

$$\begin{cases} \frac{ds}{dL_2} = -N_2 \cos B_2 \sin A_2 \\ \frac{dA_1}{dL_2} = -\frac{1}{m} N_2 \cos B_2 \cos A_2 \\ \frac{dA_2}{dL_2} = \frac{1}{m} N_1 \cos B_1 \cos A_1 \\ \frac{dm}{ds} = \frac{m \tan B_1}{N_1 \cos A_1} + \frac{\tan A_1}{\tan A_2} \end{cases} \quad (3)$$

где:  $s_0$  и  $m_0$  — длина и приведённая длина дуги меридиана



При составлении этих уравнений дифференцирование идёт по длине  $L$  при повороте геодезической линии. Для уравнений (1) /геометрия Евклида/ дифференцирование идёт по неподвижной геодезической линии.

Система уравнений (3) имеет аналитическое решение. Эллиптические интегралы  $s_0$  и  $m_0$  входят только в начальные условия [2, с. 66]. Они решаются на вычислителе.

Для системы (1) получить аналогичное решение *нельзя* в силу свойств эллиптических интегралов, как было сказано выше.

Таким образом, в статье показано, что использование геометрии Лобачевского расширяет математические возможности решения геометрических задач на криволинейной поверхности.

### **Список литературы:**

1. Даренская Л.В. Векторный метод решения геодезических задач // Известия ВУЗов. Геодезия и фотосъемка. М., — 1980. — № 2. — С. 38—42.
2. Даренская Л.В. К вопросу о решении непрерывных задач в ЭВМ. // Известия ВУЗов. Геодезия и фотосъемка. М., 1989. — № 3. — С. 61—68.
3. Закагов П.С. Курс высшей геодезии. Москва, «Недра», 1976. — 511 с.
4. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. Москва, «Недра», 1979. — 296 с.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**Научное издание**

**«ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ»**

Сборник статей по материалам  
XII международной научно-практической конференции

№ 11 (11)  
Ноябрь 2013 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 17.11.13. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 14,125. 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